

AALTO YLIOPISTO

Insinööritieteiden korkeakoulu

Koneenrakennustekniikan laitos

Markus Stenman

## Tilausohjatun tuotannon ohjattavuusanalyysi ja ohjaustyökalujen systematisointi

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin  
tutkintoa varten

Espoo 5.4.2012

Työn valvoja: Professori Esko Niemi

Työn ohjaaja: Diplomi-insinööri Edward Frisk

|  |  |                         |                     |
|--|--|-------------------------|---------------------|
| AALTO-YLIOPISTO<br>INSINÖÖRITIETEIDEN KORKEAKOULU<br>PL 11000, 00076 AALTO<br>http://www.aalto.fi  |  | DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ |                     |
| Tekijä: Markus Stenman   |  |                         |                     |
| Työn nimi: Tilausohjatun tuotannon ohjattavuusanalyysi ja ohjaustyökalujen systematisointi   |  |                         |                     |
| Korkeakoulu: Insinööritieteiden korkeakoulu  |  |                         |                     |
| Laitos: Koneenrakennustekniikan laitos   |  |                         |                     |
| Professori: Tuotantotekniikka  |  | Koodi: Kon-15           |                     |
| Työn valvoja: Professori Esko Niemi  |  |                         |                     |
| Työn ohjaaja: Diplomi-insinööri Edward Frisk   |  |                         |                     |
| <p>Tiivistelmä</p> <p>Yrityksen toiminnanohjausjärjestelmän (ERP-järjestelmä) kehittäminen on erittäin tärkeää pyrittäessä varmistamaan tuotantoyksikön suotuisa tuottavuuskehitys. ERP-järjestelmän avulla ohjataan tuotantoa päivittäin, ja sen kehittäminen yrityksen toimintamalleihin sopivammaksi on sen tuottavuuden kehityksen ja suorituskyvyn kannalta erityisen tärkeää. ERP-järjestelmän räätälöiminen paremmin yrityksen sisäisten prosessien tarpeisiin edesauttaa tehokkuuden ja joustavuuden kasvua.</p> <p>Tässä työssä esitellään tuotannonsuunnittelun kehitystehtäviä, jotka auttavat tuotannonsuunnittelua tekemään tarkempia valintoja tuotteiden suhteen, ja ajoittamaan tuotteita tarkemmin tuotantoon käyttämällä paremmin hyväksi tuotteiden teknillisiä tietoja. Myös ennusteiden ylläpitoon ja hetkellisten varauksien kirjauksiin on kehitetty uusia työkaluja, jotka helpottavat tuotannonsuunnittelijoiden työtä.</p> <p>Tuotannonsuunnittelun tuotteiden ajoittamiseen ja reitityksien valintaan vaikuttaa tärkeiden tuotantoresurssien tarkka mallintaminen ERP-järjestelmään. Tarkkojen tuotantoresurssien mallintamisen kautta on mahdollista havaita ajoissa mahdolliset kapasiteettiongelmat.</p> <p>Työn Tuloksena ERP-järjestelmän tuotannonohjaus tarkentui. Suurimmat parannukset ERP-järjestelmään ovat tuotantovaiheiden kestoon vaikuttavien vaihtoehtojen lisääminen ja kriittisten työvaiheiden kuormitusten esiintuominen tuotannonohjauksessa sekä ennustetieto- ja kapasiteettivaraustyökalujen kehittäminen.</p> |  |                         |                     |
| Päivämäärä: 5.4.2012   |  | Kieli: Suomi            | Sivumäärä: 101 + 10 |
| Avainsanat: SAP, ERP, MTO, tuotannonsuunnittelu, ennuste   |  |                         |                     |



|  |  |                                    |  |
|--|--|------------------------------------|--|
| AALTO UNIVERSITY<br>SCHOOLS OF TECHNOLOGY<br>PO Box 11000, FI- 00076 AALTO<br><a href="http://www.aalto.fi">http://www.aalto.fi</a>  |  | ABSTRACT OF THE MASTER'S<br>THESIS |  |
| Author: Markus Stenman   |  |                                    |  |
| Title: Make-To-Order production controllability analysis and systematization of production control tools   |  |                                    |  |
| School: School of Engineering  |  |                                    |  |
| Department: Department of Engineering Design and Production  |  |                                    |  |
| Professorship: Production Engineering  |  | Code: Kon-15                       |  |
| Supervisor: Professor Esko Niemi   |  |                                    |  |
| Instructor: Edward Frisk, M.Sc. (Tech.)  |  |                                    |  |
| <p>Abstract</p> <p>Enterprise resource planning system (ERP-system) manages and coordinates all business functions. The performance of the enterprise resource planning system is central when trying to improve the productivity of company processes. The ERP-system controls the company's production; the quality of production planning will benefit from more accurate input data.</p> <p>This thesis develops production planning tasks that help production planning to make more detailed choices for products, when products are scheduled and routed through production, through better use of technical data obtained from customer sales orders.</p> <p>This research concentrates on make to order production (MTO) where taking product specification into account is essential for production planning.</p> <p>From a production controllability point of view, it is important to identify relevant production resources and demand development. This research tries to find methods by which those resources could be utilized in ERP-system's production planning module.</p> <p>A result of the thesis, production control is more detailed and better monitors the critical production resources, and forecasting processing methods have been developed that are more suitable for MTO production.</p> |  |                                    |  |
| Date: 5 April 2012   |  | Language: Finnish                  |  |
|  |  | Number of pages: 101 + 10          |  |
| Keywords: SAP, ERP, MTO, Production Planning, forecast   |  |                                    |  |

## SISÄLLYSLUETTELO

|   |    |
|---|----|
| KÄYTETYT LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT .....                               | 6  |
| ALKUSANAT .....   | 8  |
| 1 Johdanto .....  | 9  |
| 1.1 Tutkimustyön taustaa .....  | 9  |
| 1.2 Tutkimuksen tavoite ja rajausta .....                             | 9  |
| 2 Tilausohjautuva tuotanto.....                                       | 11 |
| 2.1 Yleistä tilausohjatusta tuotannosta ja tuotantoympäristöistä..... | 11 |
| 2.2 Tilausohjatun tuotannon tuoteräätälöinti.....                     | 14 |
| 2.2.1 Tuoteräätälöinnin haasteet ja vaatimukset.....                  | 15 |
| 2.2.2 Massaräätälöinti .....  | 16 |
| 2.3 Tilausohjatun tuotannon ennustaminen.....                         | 18 |
| 2.4 Tilausohjatun tuotannon toiminnanohjaus .....                     | 23 |
| 2.4.1 Yleistä tuotannonsuunnittelusta ja -ohjauksesta .....           | 23 |
| 2.4.2 Tuotannonsuunnittelu.....                                       | 26 |
| 2.4.3 Tuotannonohjaustyökalut ja -menetelmät .....                    | 28 |
| 2.4.4 Tuotantofilosofiat tilausohjattuun tuotantoon .....             | 33 |
| 2.5 Tilausohjatun tuotannon hankintatoimi.....                        | 42 |
| 2.6 Simulointijärjestelmät ja optimointi.....                         | 46 |
| 2.7 Toiminnanohjausjärjestelmät eli ERP-järjestelmät.....             | 49 |
| 2.7.1 SAP ERP -järjestelmä .....                                      | 51 |
| 3 Ohjattavuusanalyysi.....  | 55 |
| 3.1 Kohdeyrityksen esittely .....                                     | 55 |
| 3.2 Nykytilakuvaus .....  | 57 |
| 3.2.1 Tahtikoneen toimintaperiaate ja tuotantoprosessi.....           | 57 |

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| 3.2.2               | Tilaus-toimitusprosessi.....                                       | 63 |
| 3.2.3               | Tuotannonohjaus ja -suunnittelu.....                               | 66 |
| 3.2.4               | Toimittajaverkoston nykytila.....                                  | 70 |
| 3.2.5               | Toiminnanohjausjärjestelmä.....                                    | 71 |
| 3.3                 | Nykytilan analysointi .....  | 72 |
| 3.3.1               | Toimenpiteet ongelmien ratkaisuun.....                             | 75 |
| 4                   | Ohjaustyökalujen systematisointi.....                              | 82 |
| 4.1                 | SAP PP -ohjeiden teko ja kuormantasaussääntöjen päivittäminen..... | 82 |
| 4.2                 | Tuotantoresurssien esiintuominen SAP ERP -järjestelmään.....       | 82 |
| 4.3                 | Tarvehierarkian uusiminen .....                                    | 85 |
| 4.4                 | Ennustetietojen luominen SAP ERP -järjestelmään .....              | 87 |
| 5                   | Johtopäätökset .....   | 91 |
| 6                   | Suosituksset .....   | 94 |
| 7                   | Yhteenveto .....   | 97 |
| LÄHDELUETTELO ..... |  | 99 |

## KÄYTETYT LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

|       |  |
|-------|--|
| 4Q    | Toimintamalli, jossa toimittajan suorituskykyä parannetaan nelikohtaisen ohjelman avulla. Mittaa, analysoi, kehittää ja ylläpidä.  |
| 5S    | 5S on filosofia, joka keskittyy työympäristön siisteyteen ja organisointiin sekä työmenetelmien standardisointiin  |
| ABB   | Asea Brown Boveri  |
| ATO   | Assemble-To-Order, kokoonpano-ohjattu tuotanto   |
| AVR   | Jännitteen säätäjä   |
| BOM   | Bill Of Material. Osaluettelo komponenteista, joita tarvitaan koneeseen.   |
| CAD   | Computer Aided Design (Tietokoneavusteinen suunnittelu)  |
| CIR   | Customer Independent Requirement, asiakaskohtaiset ennusteet   |
| CRM   | Customer Relationship Management   |
| DBR   | Drum-Buffer-Rope, TOC:n tuotantoaikatauluttamisesta kutsuttu nimitys   |
| DG    | Driving Glove, toiminnanohjausjärjestelmä  |
| DMAIC | Define, Measure, Analyze, Improve, Control   |
| ERP   | Enterprise Resource Planning. Toiminnanohjausjärjestelmä. Yrityksen tietojärjestelmä, joka integroi eri toimintoja.  |
| ETO   | Engineering-To-Order, suunnitteluohjattu tuotanto  |
| FIFO  | First In- First Out -järjestys   |
| FP    | Freezing Point. Tahtikoneet-yksikön tilaus-toimitusprosessin porttimallin portti, jonka jälkeen muutokset tilaustietoihin eivät ole enää mahdollisia                             |
| JIT   | Juuri oikeaan aikaan(Just in time). Johtamisfilosofia, jonka perusajatuksena on toimittaa vain tarvittavat tuotteet niitä tarvitseville asiakkaille silloin kun niitä tarvitaan. |

|         |  |
|---------|--|
| KET     | Keskeneräinen tuotanto   |
| LEAN    | Yrityksen toiminnan kehityskonsepti, jonka avulla pyritään hukan poistamiseen tuotantoprosessista.     |
| MRP     | Material Requirement Planning, materiaalien hallinta   |
| MRP II  | Manufacturing Resource Planning, resurssien hallinta   |
| MTO     | Make-To-Order, tilausohjattu tuotanto  |
| MTS     | Make-To-Stock, varasto-ohjautuva tuotanto  |
| OPP     | Order Penetration Point, tilauksen kohdistumispiste  |
| OPT     | Optimized Production Technology  |
| PDM     | Product Data Management. Tuotetiedonhallinta. Järjestelmä, jolla hallitaan kaikkea tuotetietoa.        |
| PIR     | Planned Independent Requirement, asiakas-kohdentamattomat ennusteet                                    |
| SAP R/3 | Toiminnanohjausjärjestelmä, joka toteutetaan asiakaspalvelimilla                                       |
| SAP PP  | SAP Production Planning. Tuotannonsuunnittelu-moduuli.   |
| SIS     | Sales information system. Asiakkaille suunnattu myyntilauksien seurantaan tarkoitettu tietojärjestelmä |
| TOC     | Theory of Constraints. Kapeikko-ohjaus   |
| TPS     | Toyota Production System   |



## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty ABB Oy:n Tahtikoneet-yksikössä 7.9.2011 - 5.4.2012 välisenä aikana. Työn valvojana on toiminut professori Esko Niemi. Haluan kiittää häntä tutkimuksen aikana saamastani tuesta ja kallisarvoisesta opetuksesta opiskeluiden aikana.

Työn ohjaajana toimi Diplomi-insinööri Edward Frisk ABB Oy:n Tahtikoneet-yksiköstä. Haluan kiittää häntä mielenkiintoisesta työn aiheesta ja saamastani arvokkaasta työkokemuksesta. Hänen apunsa ja tukensa oli myös ensiarvoisen tärkeää työn tekemisen aikana.

Kiitokset myös Pekka Kemppiselle, Rami Vuorenmaalle ja Esko Siimekselle, joiden kokemuksista ja ammattitaidoista oli suuri apu kehitystoimenpiteitä tehdessäni.

Kiitokset vielä opiskeluiden aikana saamastani tuesta vanhemmilleni, siskoilleni, sekä vaimolleni Kristille, jolta olen saanut tukea ja vastapainoa opiskelulle ja työnteolle koko diplomityön ajan.

Helsinki 27.4.2012

Markus Stenman

# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimustyön taustaa

Tämä diplomityön tuloksia sovelletaan ABB Oy moottorit ja generaattorit -yksikön tahtikoneisiin Pitäjänmäellä. Tahtikoneiden toiminnanohjausjärjestelmä (*Enterprise Resource Planning system*, ERP-järjestelmä) vaihtui keväällä 2010 räätälöidystä DG-järjestelmästä (*Driving Glove*) kaupalliseen SAP ERP -järjestelmään (SAP R/3 ECC 6.0). Tämän johdosta tuotannonohjattavuus- ja ennustetyökalut vaihtuivat SAP:ssa käytettäviin tuotannonohjaustyökaluihin (*Production Planning*, PP SAP), jotka eivät ole räätälöityjä tahtikoneiden tarpeisiin riittävällä tasolla. Muutoksen johdosta tuotannon ohjaustyökalut ja ennustettavuus ovat huonontuneet.

## 1.2 Tutkimuksen tavoite ja rajaus

Tämän diplomityön tarkoituksena on kehittää SAP PP -järjestelmää sopivammaksi tahtikoneiden tuotannonsuunnittelun tarpeisiin. Tärkeimmät kehittämisalueet ovat ennuste- ja varaustyökalujen kehittäminen, tärkeiden tuotantoresurssien esiintuominen kuormitusmielessä SAP ERP -järjestelmään, tuotteiden tarvehierarkioiden päivittäminen sekä SAP PP -ohjeiden tekeminen.

Ennuste- ja varaustyökaluja muokataan käytännöllisemmiksi niin, että varauksista saadaan selville se, kenelle varaus on tehty. Lisäksi ennusteet eriytetään kahteen eri osaan (kohdentamattomiin ennusteisiin ja asiakasennusteisiin). Näiden avulla parannetaan tahtikonemyyjien tarjouksien läpinäkyvyyttä tuotannon kuormituksessa, sekä muutetaan tarjoukset SAP PP -järjestelmässä myyntitilauksiksi pienellä vaivalla. Toinen tavoite on kehittää ohjattavuusanalysoinnin avulla nykyisiä tuotannonsuunnittelun työkaluja. Kolmas tavoite on tuotannonsuunnittelun SAP PP -osaamisen dokumentointi. Useat ohjeet ovat keskeneräisiä tai puutteellisia, eikä niihin ole panostettu tarpeeksi. Dokumentoinnin avulla pyritään siirtämään SAP PP -osaaminen kaikkien työntekijöiden käytettäväksi. Neljäs tavoite on saada tuotteiden tuotantoreitityksistä tarkempia käyttämällä hyväksi koneiden teknisiä tietoja. Tämän

avulla jokainen uusi myyntitilaus saisi yksilöllisen tuotantoreitin, johon suunnitellaan siihen vaikuttavat asiat.

Työ rakentuu teoriaperustaan, jota pyritään käsittelemään riittävän laajasti luvussa 2. Kirjallisuudesta haetaan perustietoja työn tavoitteiden ongelmien ratkaisuun. Teorian avulla pyritään selventämään käsitystä tilausohjatun tuotannon toimintatavasta ja mahdollisuuksista sen kehittämiseksi paremmaksi. Teoriaosuuden jälkeen käydään läpi tutkittavan yrityksen tuotannonohjauksen nykytila. Nykytilan tarkastelun jälkeen ryhdytään analysoimaan ongelmaa ja kehitetään ratkaisumalleja.

Luvun 2 tarkoituksena on antaa riittävää teoreettista taustaa tämän työn tilausohjatutulle tuotannolle. Teoriaosuudessa tarkastellaan yleisesti tilausohjattua tuotantoa vertailemalla sitä muihin tuotantoympäristöihin kappaleessa 2.1.

Kappaleessa 2.2 tutkitaan tilausohjatun tuotannon tuoteräätälöinnin ja massaräätälöinnin mahdollisuuksia yrityksissä. Kappaleessa 2.3 tutkitaan yleisellä tasolla kysynnän ennustamisesta ja sitä, mikä vaikuttaa ennusteiden tarkkuuteen.

Kappaleessa 2.4 tutkitaan kirjallisuudessa saatavilla olevaa tietoa toiminnanohjauksesta ja tuotantofilosofioista. Toiminnanohjauksen tarkoituksena on saada tietoa toiminnanohjauksen menetelmien ja työkalujen yleisesti käytössä olevista vaihtoehdoista. Tuotantofilosofioiden tutkimisen tarkoituksena on katsastaa nykyiset tuotantofilosofioiden suunnat ja arvioida, mihin päin tuotantoajatukset ovat menossa tulevaisuudessa. Kappaleessa 2.5 tarkastellaan tilausohjatun tuotannon hankintatoimea. Tarkoituksena on antaa yleiskuva hankintaan liittyvistä ja huomioitavista asioista, jotka liittyvät tuotantoon. Koska kohdeyrityksen tuotanto on suurimmaksi osaksi kokoonpanotehtaan tyypeistä, sen hankintatoimella on suuri merkitys suorituskykyyn. Kappaleessa 2.6 tutkitaan simulointia ja optimointia. Siinä käydään läpi yleisesti simulointi- ja optimointiprosessit sekä sitä, mitä vaaditaan simulointiprojektin onnistuneeseen läpivientiin. Kappaleessa 2.7 tutkitaan yleisellä tasolla toiminnanohjausjärjestelmien toimintaperiaatteita ja syventävästi SAP-toiminnanohjausjärjestelmää.

## 2 Tilausohjautuva tuotanto

### 2.1 Yleistä tilausohjatusta tuotannosta ja tuotantoympäristöistä

Tilausohjautuva tuotanto (*Make-To-Order*, MTO) on asiakaslähtöistä liiketoimintaa, jossa tavoitteena on vastata asiakkaan tarpeisiin mahdollisimman hyvin ja nopeasti. MTO-tuotantoympäristö voidaan jakaa sekatuotantoon (job shop) ja kokoonpanolinjaan (flow shop), joiden erona ovat materiaalivirtaukset ja niiden suunnat tehtaassa sekä tuoteräätälöintimahdollisuudet.[16]

Toimitusaikataulussa pysyminen on hyvin tärkeää MTO-tuotannossa mm. asiakastyytyvyyden takia, koska yleensä vaadittu tuote on osa suurempaa kokonaisuutta tai projektia, jossa on jo valmiiksi suunniteltu projektiaikataulu. Asiakkaiden tarpeisiin vastataan suunnittelemalla ja räätälöimällä tuote tai palvelu asiakkaan vaatimusten mukaisiksi. Asiakassuhteen ja yhteistyön asiakkaan kanssa on oltava läheistä ja jatkuvaluonteista, jotta tuote täyttäisi kaikki asiakkaan vaatimukset. [1, s. 37–38, 416]

Tuotteen suunnitteluvaiheessa huomioidaan yrityksen kyvykkyys valmistaa tuote. Pyrkimyksenä on suunnitella tuote mahdollisimman valmistusystävälliseksi. Suunnitteluvaiheen tekeminen jokaiseen tuotteeseen johtaa MTO-yrityksissä suuriin suunnitteluresursseihin ja pitkiin toimitusaikoihin verrattuna esimerkiksi varasto-ohjautuvaan tuotantoon (*Make-To-Stock*, MTS), jossa tuoteräätälöinti on hyvin minimaalista ja tuotteet vakiorakenteisia. Suunnitteluresurssin kapasiteetinsuunnittelu on yksi erikoispiirre MTO-tuotannossa. Muun muassa tästä johtuen tarkkojen asiakasennustusten tekeminen on tärkeää näissä MTO-yrityksissä.[1, s. 37–38, 416]

Tuotesuunnittelija määrittelee MTO-tuotannossa tuotteen materiaalit ja kustannukset. Materiaalivalinnoissa suunnittelija valitsee sen, tuleeeko materiaali tai komponentti toimittajalta teknisten tietojen mukaan valmistettuna vai toimittajalta varasto-ohjautuvana standardimateriaalina tai -komponenttina. Tuotannonsuunnittelija suunnittelee tuotantovaiheet, joita tarvitaan tuotteen valmistuksessa.

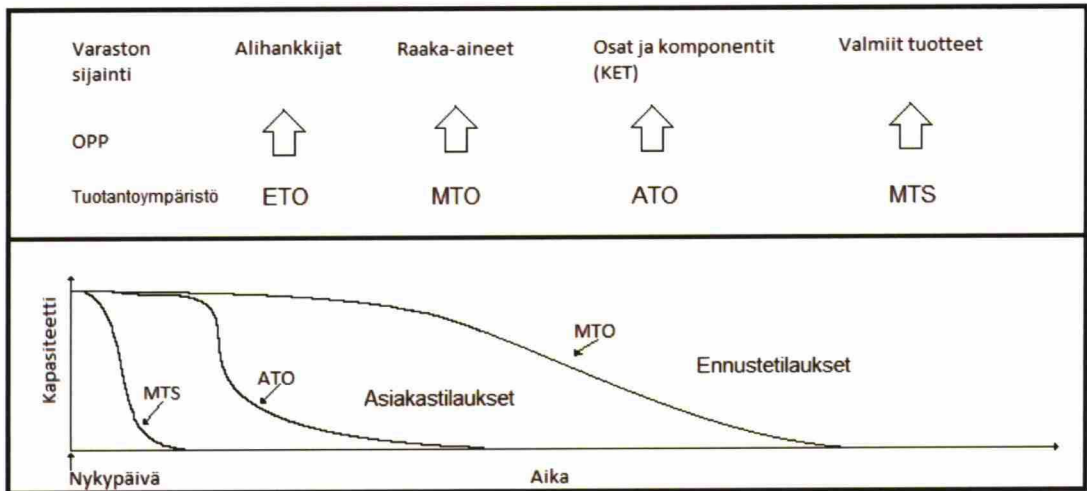


Tuotantovaiheiden suunnittelu ja materiaalivalinnat vaikuttavat suuresti tuotteen kokonaiskustannuksiin, joten suunnittelijan tekemät ratkaisut ja valinnat vaikuttavat yrityksen kustannustenhallintaan ja sen kautta tulokseen. [1, s.37–38]

MTO-tuotannossa tilauksen kohdistuspiste (*Order Penetration Point*, OPP) on raaka-aineissa ja alihankkijoiden määrittelyissä, kun taas esimerkiksi tilausohjautuvassa kokoonpanossa (*Assemble-To-Order*, ATO) tilauksen kohdistuspiste on tuotteen osissa ja komponenteissa. Tilauksen kohdistuspisteellä tarkoitetaan virstanpylvästä, jossa tilaus vaihtuu tarjouksesta vahvistetuksi tilaukseksi. Vahvistettu tilaus tarkoittaa sitä, että sekä asiakas että tilauksen vahvistanut yritys sitoutuvat sopimukseen, jossa yritys tarjoaa rahaa vastaan asiakkaan haluaman tuotteen tiettyyn toimitusajankohtaan. OPP:een jälkeen tuotteiden ominaisuudet ovat päätetyt, eikä asiakas voi enää vaikuttaa niihin. OPP antaa impulssin yritykselle, jossa ryhdytään määrittelemään tarvittavia toimenpiteitä tuotteen valmistamiseksi alkaen suunnittelusta → raaka-aineet → komponentit → alihankkijat ja toimittajat → valmistusvaiheet. Ennen OPP:tä olevat toiminnot ovat ennustehjautuvia ja OPP:n jälkeen olevat toiminnot ovat tilausohjautuvia. [1, s. 35]

Yleiset tuotantoympäristöt ovat tilausohjautuva suunnittelu (*Engineer-to-order*, ETO), MTO, ATO ja MTS. Kuvassa 1 nähdään, miten OPP eroaa eri tuotantoympäristöissä, ja miten kysyntää ennustetaan eri ohjattavuustapauksissa aikaan suhteutettuna. MTO-tuotannossa kysyntää ennustetaan hyvin pitkälle tulevaisuuteen, koska tilaus-toimitusprosessi on hyvin pitkä johtuen aikaa vievästä suunnitteluvaiheesta ja alihankkijoiden toimittamien asiakasräätälöityjen komponenttien tuotantoon toimituksista. Tästä johtuen kapasiteetti on määritelty pitkälle tulevaisuuteen jopa vuosien päähän nykypäivästä. [1, s. 35, 39–40]

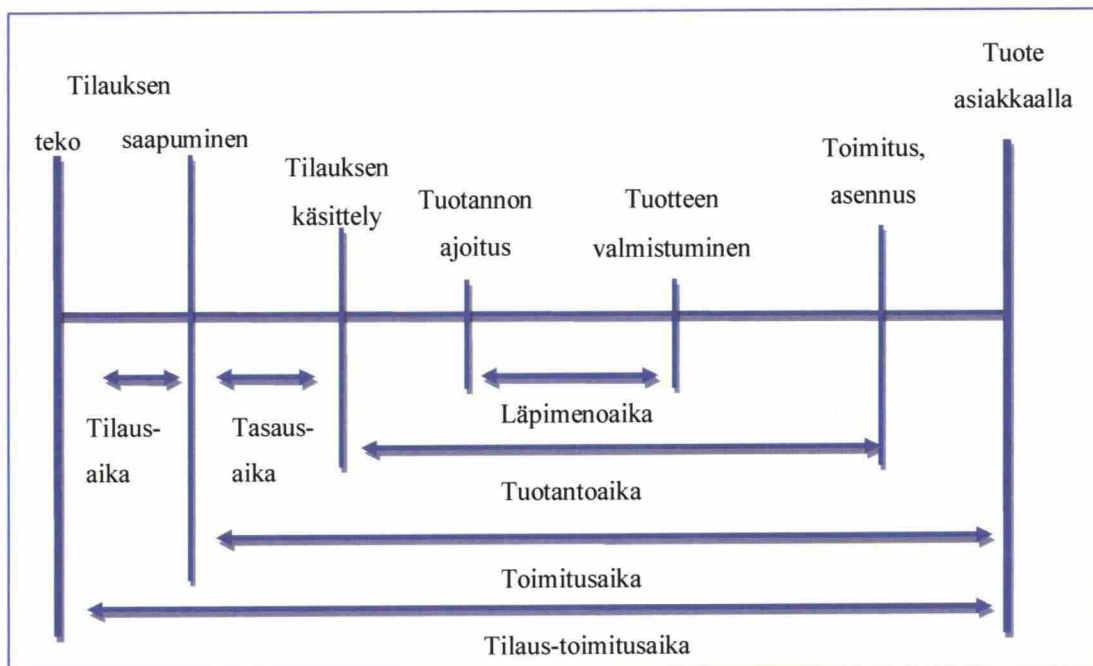




**Kuva 1. Tilauksen vahvistuspisteet eri tuote ympäristöissä ja niiden kapasiteetin suunnittelu ajan suhteen.[1, s. 35,40]**

Tilausennusteita voidaan suunnitella MTO-tuotannossa tiettyjen tuoteperheiden, maantieteellisten sijaintien, organisaation yksiköiden tai näiden yhdistelmien mukaan. MTO-tuotannossa ei voi olla suuria välivarastoja ja loppuvarastoja, koska tuotteet ovat asiakasräätelöityjä ja niiden valmistuksessa tulee esiintymään suuri keskeneräinen tuotanto (KET), johtuen mm. alihankkijoiden suorituskyvystä ja toimitusvarmuudesta.[1, s. 35, 39–40]

MTO-tuotannon tilaus-toimitusprosessi on yleensä pitkä johtuen mm. tuoteräätelöinnistä ja sen vaikutuksesta tuotantoketjuun. Tilaus-toimitusprosessi voidaan jakaa yleensä kuvan 2 mukaisiin vaiheisiin ajan suhteen. Tilaus-toimitusprosessi kattaa kaikki vaiheet tilauksesta toimituksen vastaanottoon, johon sisältyy koko materiaali- ja tietovirtojen hallinta.[12]

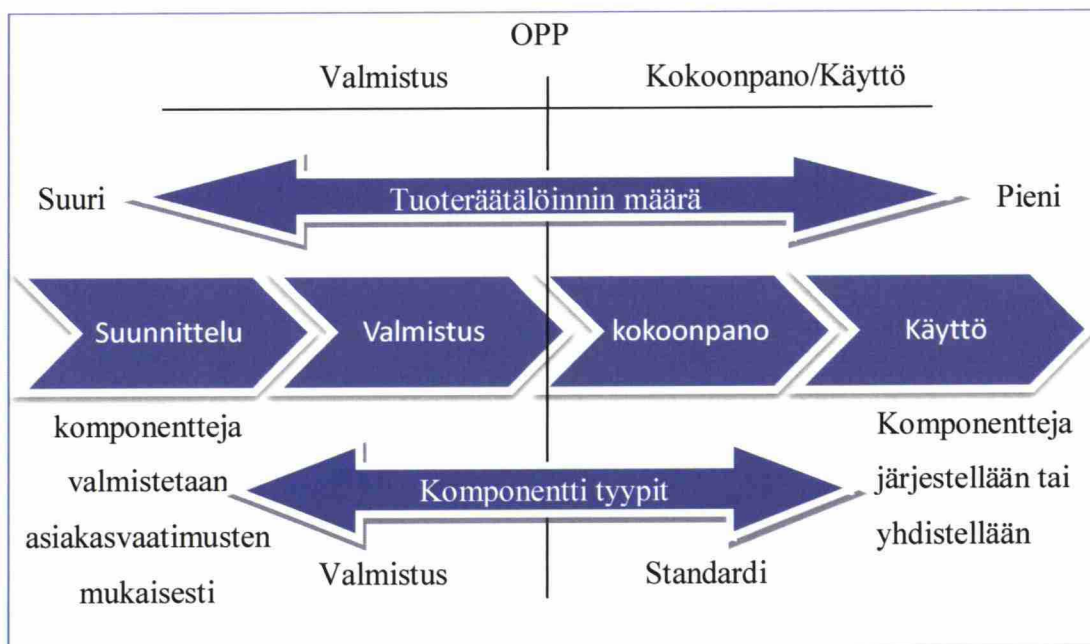


**Kuva 2. Tilaus-toimitusprosessi[12]**

## 2.2 Tilausohjatun tuotannon tuoteräätälöinti

Tuoteräätälöinti voidaan nähdä yrityksen strategiana, jolla erottaudutaan kilpailijoista. Räättälöintistrategiana voi olla pelkkä erilaistaminen tai hybridistrategia, jolla saadaan kilpailuetuja sekä erilaistamisen että kilpailukykyisen hinnan avulla. Toisin sanoen tuoteräätälöinnillä on näkökulmana joko työpajapohjainen täysi tuoteräätälöinti tai massaräätälöinti. Massaräätälöintiä tarkastellaan tarkemmin jäljempänä kappaleessa 2.2.2.

Tuoteräätälöinnin avulla saadaan huomattavaa kilpailuetua kilpailijoihin nähden. Räättälöinnillä tuotteet muokataan suoraan asiakkaan haluamiksi kilpailukykyisin hinnoin tyydyttäen näin asiakkaan tarpeet paremmin kuin massatuotannossa. Tuotteen räätälöintiä voi tapahtua yrityksessä suunnittelussa, valmistuksessa, kokoonpanossa tai jakelussa riippuen OPP:n sijainnista tuotantoketjussa. Kuvassa 3 on kuvattu OPP:n vaikutus tuoteräätälöinnin mahdollisuuksiin ja se, kuinka paljon tuoteräätälöintiä voidaan tehdä eri tuotantovaiheissa. Kuvasta 3 tulee ilmi eri ulottuvuudet tuoteräätälöinnissä ja se, missä vaiheissa sitä voidaan tehdä. OPP:n valinta arvoketjussa määrittelee suurimmaksi osaksi sen, kuinka paljon tuotetta voidaan räätälöidä. [18, s. 11–12] [19, s. 413]



**Kuva 3. Tuoteräätälöinti ja räätälöintitasot[19, s. 413]**

### 2.2.1 Tuoteräätälöinnin haasteet ja vaatimukset

Tuoteräätälöintiin keskittyvän yrityksen haasteena on tarjota asiakkaille tuotteita, jotka on toimitettu oikea-aikaisesti, kilpailukykyisillä hinnoilla ja asiakasräätälöityinä. Asiakasräätälöinti ja tuotekirjon moninaisuus vaikuttaa negatiivisesti liiketoimintaprosessin suorituskykyyn ja tehokkuuteen. Ne voivat johtaa suuriin häiriöihin kustannustenhallinnassa ja toimitusvarmuudessa.

Kustannusten kasvaminen ja toimitusvarmuuden huonontuminen vaikuttavat suoraan tuotteen hintaan ja asiakastyytyväisyyteen. Yritys, joka on mainitut haasteet voittanut ja pystyy tarjoamaan räätälöidyt tuotteet nopealla toimitusajalla, alemmalla hinnalla ja paremmalla laadulla, nauttii markkinoilla suurta kilpailuetua kilpailijoihinsa nähden. Tämän saavuttamiseen tarvitaan yrityksessä tuotannon joustavuutta, koulutettuja ja osaavia työntekijöitä, oikeita laiteinvestointeja ja tuotantoprosesseja. [17][18]

Tuotevariaatiokirjon ylläpitämiseen on kehitetty eri konsepteja. Yleisemmät tietokonepohjaiset järjestelmät ovat tuotekonfigurointi (*Product Configuration*, PC), tuotetietojen hallinta (*Product Data Management*, PDM) ja asiakassuhteiden hallinta

(*Customer Relationship Management*, CRM). Eri järjestelmillä on eri ominaisuuksia ja ne painottuvat eri ominaisuuksiin ja tavoitteisiin. Kuitenkin järjestelmien tärkeimmät merkitykset ovat tuotekirjon hallinta, ylläpito, dokumentointi ja asiakastietojen hallinta tuotetasolla [17]

## 2.2.2 Massaräätälöinti

Asiakasräätälöityjä tuotteita pyritään standardoimaan massaräätälöinnin avulla erityisesti MTO-tuotantoympäristössä, jotta useita asiakkaita voidaan kerralla palvella mahdollisimman nopeasti, kilpailukykyisin hinnoin ja alhaisin kokonaiskustannuksin. Lisäarvoa tuottavia toimintoja pyritään viivästyttämään kunnes OPP on saavutettu, jotta asiakasräätälöinti täyttäisi asiakkaan tarpeet mahdollisimman hyvin ja kustannukset pysyisivät alhaisina. Massaräätälöinti lisää yrityksen joustavuutta ja parantaa asiakkaiden palvelunopeutta ja samanaikaista määrää. Massaräätälöinnin tuotteen tuoteräätälöinti on rajoitettua verrattuna täysin tuoteräätälöityihin tuotteisiin. Massaräätälöinnin kyvykkyyttä voidaan mitata kolmen eri kriteerin avulla: [11, s.914][11, s. 908–927]

1. Räätälöinnin kustannustehokkuus. Kyky erilaistaa tuote ilman merkittävää tuotantokustannusten nousua
2. Variaatiomäärien tehokkuus. Kyky lisätä variaatioiden määrää ilman tuotantomäärien alentamista
3. Räätälöinnin reagointinopeus. Kyky nopeuttaa tilaus-toimitusprosessia räätälöidyissä tuotteissa ja reitittää valmistusprosessi nopeasti uuden tuoteräätälöinnin mukaiseksi.

Kyvykkyyskriteereistä voidaan johtaa toiminnalliset tarpeet ja suunnitteluparametrit, joita tarvitaan massaräätälöintijärjestelmän toiminnassa. Toiminnalliset tarpeet ovat:

- Asiakkaan tyydyttäminen. Asiakkaan tyydyttäminen voidaan saavuttaa kolmen pääulottuvuuden mukaan muotoilun, käyttökelpoisuuden ja toiminnallisuuden mukaan.
- Taloudellinen valmistaminen. Taloudellinen valmistamisen tavoitteena on valmistaa asiakasräätälöidyt komponentit edullisesti niin, että kustannukset pysyvät vertailukelpoisina standardikomponentteihin nähden. Komponenttien hinnat eivät saisi ylittää 10- 15 % standardikomponenttien hinnoista.



- Nopea toimitus. Nopea toimitus on asiakkaan näkökulmasta tärkeää ja se aikaraami, jonka ajan asiakkaat suostuvat odottamaan, on rajallinen. Se on kuitenkin pidempi kuin standardituotteiden osalta.

Suunnitteluparametreja ovat:

- Tuotevariointi. Tuotevariointia tarvitaan tyydyttääkseen suuren valikoiman asiakastarpeita.
- OPP:n sijainti. OPP:n sijainti arvoketjussa määrittelee asiakasrätälöintitason ja toimitusajan pituuden (kuva 3).
- Tuotannon virtaus. Tuotannon virtaus on läheisessä yhteydessä tuotantoprosesseihin ja sitä kautta tuotannon joustavuuteen, läpimenoaikoihin, KET:n määrään ja varastotasoihin. [11, s. 911–914]

Lyhyesti sanottuna massarätälöinnin tavoite on saada tuote sopivaksi suurimmalle osalle asiakkaista nopealla toimitusaikataululla. Nopeaan tilaus-toimitusprosessiin päästään nopealla tuotesuunnittelulla, lyhentämällä tuotannon läpimenoaikoja ja tehokkaalla toimittajaverkostolla. Tuotesuunnittelua voidaan nopeuttaa kolmella eri tavalla: suunnittelemalla tuotevariaatiot modulaarisiksi, yhtenevistä komponenteista tai käyttämällä tuotealustoja. Tuotealusta on perusmoduuli, jota sovelletaan eri tuotevariaatioihin tuoteperheessä. Tuotealustasuunnittelu on kustannustehokasta, ja se on kehitetty kestäämään tuoteperheen peruskomponenttina pitkään, jolloin pystytään keskittymään paremmin yrityksen ydinosaisiin. Tuotesuunnittelun perustarkoituksena on toistuvasti käyttää samoja valmistuskomponentti- tai suunnittelurakenteita erilaisten tuotevariaatioiden valmistamiseksi. Kuvassa 4 on mallinnettu eri toimintatavat tuotesuunnittelun ja tuotantoprosessin toteuttamiseksi.[11, s. 908–927] [19, s. 6]





**Kuva 4. Variaatioiden hallintatavat tuotanto- ja prosessitasolla. [11, s. 919]**

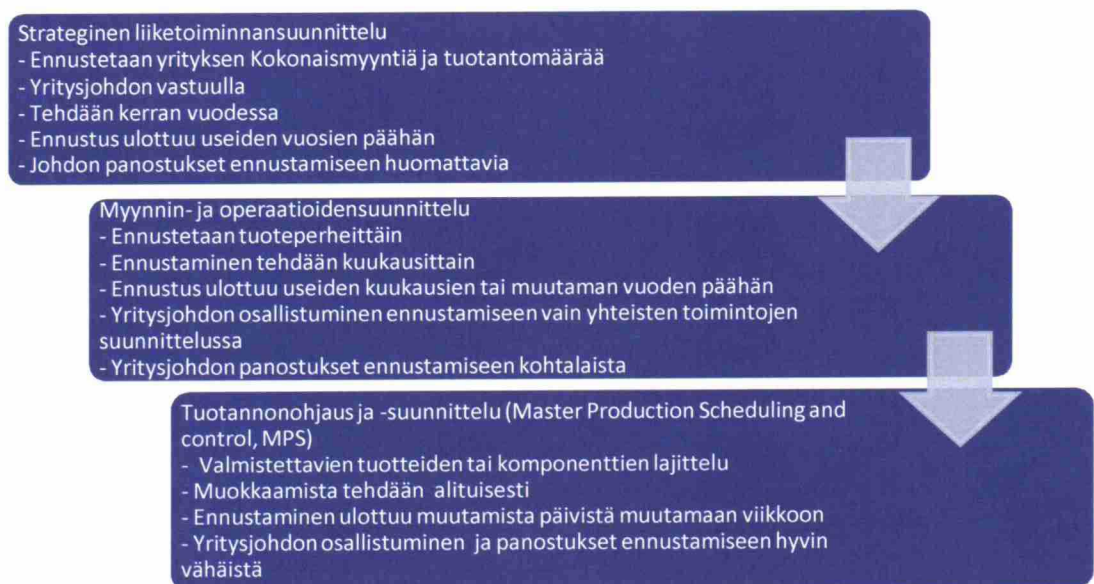
Massaräätälöinnin haasteena ovat sisäisen ja ulkoisen kompleksisuuden hallinta ja vähentäminen. Kompleksisuutta tulee massaräätälöinnissä suuresta tuotevariaatioiden määrästä, suuresta valmistussuunnitelmien määrästä, suuresta tuotannon kompleksisuudesta ja suuresta konfiguraatioiden määrästä. Kompleksisuuden määrää massaräätälöinnissä vähentää OPP:n sijainti ja prosessi, vähentää tuotteen kompleksisuutta ja vähentää varastojen kompleksisuutta. [18, s. 54–58]

Tuotannon joustavuuden parantamiseen ja läpimenoaikojen lyhentämiseen on kehitetty eri työkaluja ja menetelmiä, joita käsitellään kappaleessa 2.4 ja sen alakappaleissa. Toimittajaverkostoa tutkitaan tarkemmin kappaleessa 2.5. Seuraavassa kappaleessa perehdytään tarkemmin tilausohjatun tuotannon ennustetilausten muodostumiseen yrityksessä.

## **2.3 Tilausohjatun tuotannon ennustaminen**

Tuotannon menekin ennustamista tarvitaan, koska yrityksen tuotantoprosessia on hidasta muuttaa ja sen reagointinopeus on hitaampaa kuin markkinoiden muutokset. Ennusteilla pyritään arvioimaan tulevaisuuden kysyntää ja siten sopeutetaan kapasiteetti ja materiaalivarastoja tulevaisuuden varalle. [12, s. 413]

Yrityksen suunnittelutoiminnot voidaan lajitella kolmeen eri tasoon kuvan 5 mukaisesti: strateginen liiketoiminnansuunnittelu, myynnin- ja operaatioidensuunnittelu ja tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus. Strategisessa liiketoiminnansuunnittelussa tarkastellaan koko yritystä kokonaismyynnin ja kokonaistuotannon näkökulmasta. Ennustamiseen liittyvät tässä tapauksessa pitkän aikavälin päätökset kuten esimerkiksi uusien tehtaiden perustamiset ja yritysostot. Tässä kappaleessa keskitytään tarkemmin myynnin ja operaatioiden suunnittelun ennustamiseen. Seuraavassa kappaleessa tarkastellaan lähemmin tuotannonohjausta ja suunnittelua.[1, s. 54]



**Kuva 5. Ennustetasojen kuvaukset [1, s. 54]**

MTO-tuotannossa eri tuotevariaatioiden määrän kasvaessa yhä suuremmiksi on hyvin vaikeaa ennustaa tulevaa kysyntää lopputuotteissa. Tässä auttaa tuoteperheajattelu, jossa eri markkinat ryhmitellään tuoteperheisiin. Kuvassa 6 on kuvattu yritys, jolla on käytössä tuoteperhemalli ja kuinka tuoteperheet voidaan määritellä. Tuoteperheen myynnistä vastuussa oleva henkilö ennustaa tuoteperheen kysynnän, joka lisätään kokonaisennustukseen ja kokonaisbudjettiin. Kokonaisbudjetti on rahamääräinen arvio tulevasta myynnistä eri kuukausille. [1, s. 109]

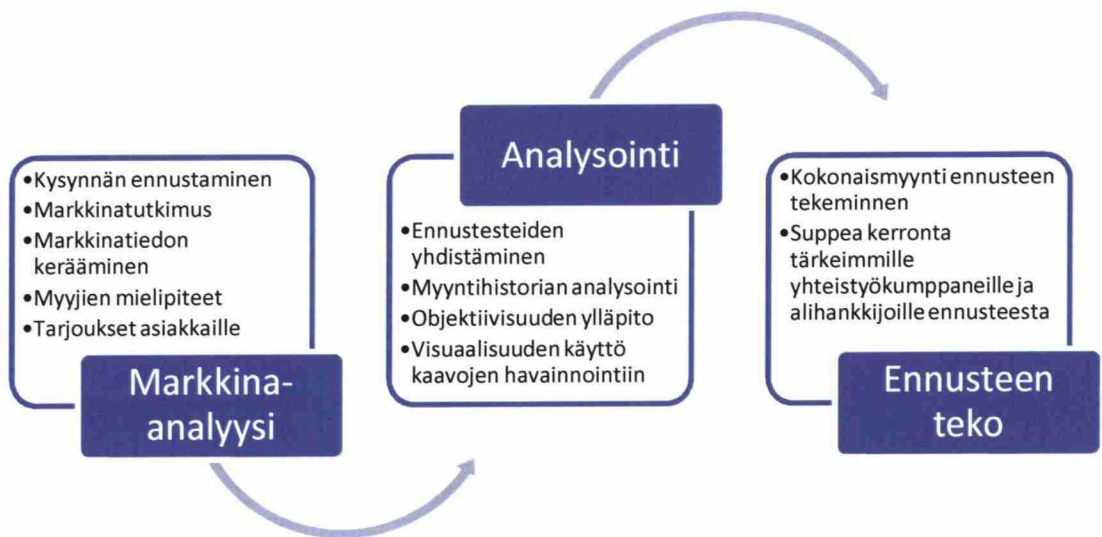


**Kuva 6. Tuoteperheistäminen. [1, s. 109]**

Tilausohjatussa tuotannossa, jossa tuotteet ovat hyvin asiakasräätälöityjä, tarvitaan muitakin keinoja kuin tuoteperheistäminen. Tuoteperheistämisen lisäksi tarvitaan luotettavaa tietoa asiakkaista ja markkinoiden kehitymisestä. Asiakassuhteiden tiivistäminen ja asiakkaiden kanssa solmittavien sitoviin ennusteisiin pohjautuvien sopimusten (a forecast-commitment contract) avulla voidaan sitouttaa asiakkaat luotettavien ennustetietojen saantiin. Tämä vaatii molemminpuolista luottamusta ja lojaalisuutta osapuolten kesken. Sopimuksissa asiakkaat saavat tuotteet tai palvelut toimitusaikojen mukaisesti ja toimittaja saa luotettavaa ennustetietoa tulevista ennustetilauksista. Sopimuksessa on kirjattu sanktiot molemmin puolin. Jos toimittaja ei toimita tilausta sovittuun ajankohtaan, joutuu toimittaja maksamaan myöhästymissakkoa. Jos asiakas peruu ennustetilauksen, joutuu asiakas maksamaan peruuntumissakkoa. Sopimus motivoi kumpaakin osapuolta kehittämään asiakas-toimittajasuhteita ja koordinoimaan keskinäisiä toimintoja paremmin. Ennusteprosessin näkökulmasta ennustesitovat sopimukset helpottavat kokonaisprosessia, vaikka nekään eivät ole täysin luotettavia. [14, s. 65- 66][1, s. 109]

Ennusteprosessi alkaa myyjien asiakastarjouksien analysoinnista ja heidän arvioistaan tulevaisuuden näkymistä ja markkinoiden käyttäytymisestä. Myyjien arvioita myynnistä ja myyntianalyyseja suodatetaan ja tämän jälkeen kokonaisarviosta muodostetaan myyntibudjetti seuraavalle vuodelle kuukausitasoisena. Kuvassa 7 on ennusteprosessi lyhyesti kuvattuna.[10, s. 320–329]





**Kuva 7. Myyntiennusteprosessi lyhyesti kuvattuna.[10, s. 320–329]**

Ennusteen tarkkuuteen vaikuttavia tietoja voi tulla useasta eri lähteestä, jotka vaikuttavat ennusteen kokonaisarvioon. Ennusteisiin vaikuttavia tietoja voi tulla olettamuksista markkinoiden kehitymisestä ja muista tietolähteistä päivittäin. Tilausennusteiden päivittäminen uusiin tietoihin tehdään joka kuukausi, jotta ennusteet olisivat mahdollisimman tarkat. Kuukausitasoiseen ennustamiseen on kehitetty hyödyllisiä tekniikoita kuten yksityiskohtaisten ennusteiden yhdistäminen, asiakassuunnitelmat ja regressioanalyysit. [1, s. 53–54]

Ennusteen tekeminen vaikuttaa suuresti tuotannonsuunnitteluun ja tuotantoon. Ennusteen avulla varaudutaan tulevaisuuteen joko lisäämällä kapasiteettia tai vähentämällä sitä. Täten ennustetarkkuuden ja ennusteiden paikkansapitävyyden on oltava hyviä, koska muuten tuotannon kuormittaminen ja suunnitteleminen on hyvin vaikeaa. Wacker [13] on tehnyt tutkimuksen, jossa tarkasteltiin ennustetarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä 134 tuotantoon keskittyvässä yrityksessä. Tutkimuksessa tarkasteltiin kahdeksan eri tekijän vaikutusta ennustetarkkuuteen. Tutkimustulokset ja eri tekijöiden vaikutukset ennustetarkkuuteen ovat seuraavat:

1. Teknologiaakulttuuri. Mitä uudemmat välineet ja uudempi teknologia, sitä tarkempi ennusteesta tuli. Uusinta teknologiaa käyttävät yritykset yleensä

käyttävät myös moderneja ennusteiden teon menetelmäoppeja kuten tietokonepohjaisia mallinnuksia ja simuloiteja.

2. Ennusteen tarkoitusperä. Ennuste tulisi tehdä myyntisuunnitelmalle (sales plan) eikä muihin tarkoituksiin. Muut tarkoitukset tulevat myyntisuunnitelmasta, kuten kapasiteettitarve. Mitä enemmän panostetaan myyntisuunnitelman ennustamiseen, sitä tarkempi ennusteesta tulee.
3. Eri toimintojen osallistuminen. Useiden yrityksen toimintojen osallistuminen ennusteen tekoon ei paranna ennusteen tarkkuutta, vaikka yleisesti kirjallisuudessa näin esitetäänkin. Yrityksen eri toimintojen osallistuminen sen sijaan parantaa sitoutumista ja hyväksyntää ennustetuloksia kohtaan.
4. Yritysjohdon osallistuminen. Liiallinen yritysjohdon osallistuminen voi huonontaa ennustetarkkuutta, koska johdolla ei ole välttämättä tietoa, kykyä ja taitoa ennustaa luotettavasti. Tästä johtuen yritysjohto voi laittaa ennusteeseen toiveita ja haluja, jotka eivät tukeudu markkinatietoon tai todellisuuteen. Kuitenkin yritysjohdon tuki on tärkeää ennusteen viemisessä läpi yrityksessä.
5. Kvantitatiivisten menetelmien soveltaminen Kvantitatiivisten menetelmien soveltaminen ei paranna ennustetarkkuutta, vaikkakin olettamuksena oli päinvastainen käsitys. Kvantitatiiviset menetelmät luovat likimääräisen tuloksen, jota pitää muokata muilla menetelmillä ennen lopullista ennustetulosta.
6. Ennustetulos yhtenä arvona vai vaihtelualueena. Yksiarvoinen ennustetulos antaa tarkemman ennustetarkkuuden, koska ennusteprosessissa tapahtuvat virheet ovat helpommin havaittavissa ja siten ennustetarkkuutta voidaan parantaa tulevaisuudessa.
7. Muokkausten määrä. Ennusteita tehdään sitä useammin mitä huonompi ennustetarkkuus yrityksessä oli.
8. Ennustevirheen mittaaminen ja laskenta edellisistä ennusteprosesseista. Tämä on tärkein ja eniten ennustetarkkuutta lisäävä tekijä. Ennusteen palautejärjestelmä tutkii ja selittää virheet aikaisemman ennusteen virheille. Tämä parantaa ennustetarkkuutta ajan suhteen.



Ennustetarkkuutta voidaan laskea jälkikäteen eri menetelmillä. Ennustetarkkuuden laskentakaavat perustuvat historiatietoon aikaisempien ennusteiden paikkansapitävyydestä. Yleisimmät menetelmät ovat: keskiarvon absoluuttinen poikkeama (*mean absolute deviation*, MAD), keskiarvon neliövirhe (*mean square error*, MSE,) ja keskiarvon absoluuttinen prosenttinvirhe (*mean absolute percent error*, MAPE).

Kaavat ovat seuraavat (n on ennusteiden lukumäärä):

$$MAD = \frac{\sum |Toteutunut_t - Ennustettu_t|}{n} \quad (1)$$

$$MSE = \frac{\sum (Toteutunut_t - Ennustettu_t)^2}{n-1} \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|Toteutunut_t - Ennustettu_t|}{Toteutunut_t} \times 100}{n} \quad (3)$$

Menetelmien eroavaisuuksia ovat ne, että MAD-menetelmä (1) painottaa kaikkia virheitä tasaisesti, MSE-menetelmä (2) painottaa virheitä neliöiden arvon mukaan ja MAPE-menetelmä (3) painottaa virheitä suhteellisen virheen mukaan. Menetelmillä voidaan tarkastaa ennusteen suorituskkyä ja sitä, onko ennusteen teossa onnistuttu tai parannettu tasoa aikaisempiin ennusteisiin nähden.[20, s. 79]

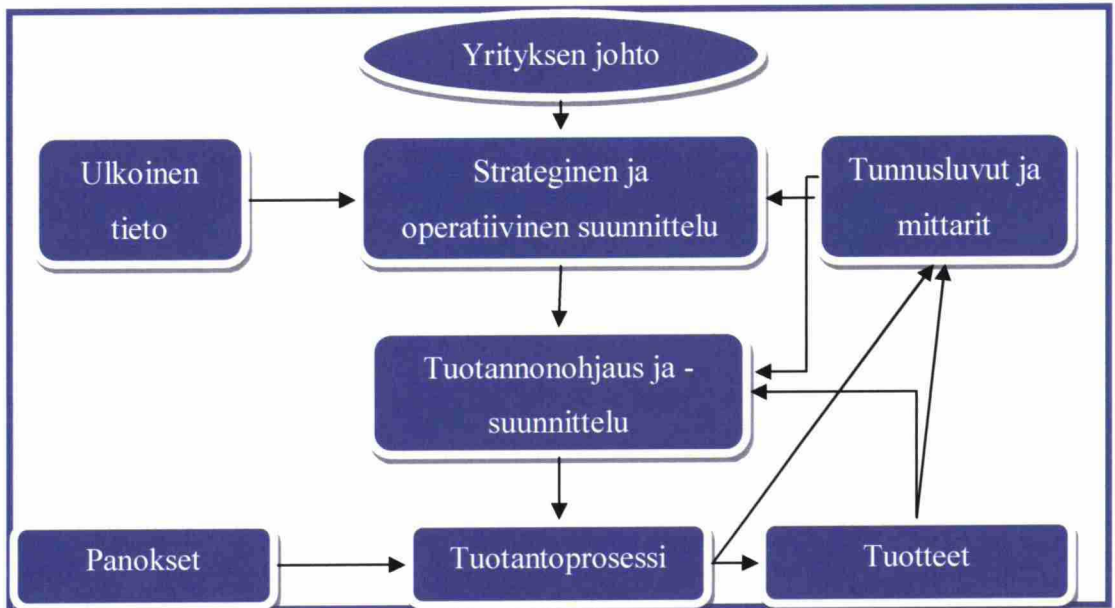
Ennusteiden synnyttämiä eri vaihtoehtoja tuotannon kuormitettavuuteen ja toteutukseen voidaan arvioida simuloinnin avulla. Kappaleessa 2.5 tarkastellaan lähemmin simulointijärjestelmiä ja tuotannon optimointia. Seuraavassa kappaleessa tarkastellaan tarkemmin tilausohjatun tuotannon ohjausta ja suunnittelua. Kiteytettynä tuotannonsuunnittelu on yksi olennaisimmista osista tehtaan toimivaa kokoonpanoa.

## 2.4 Tilausohjatun tuotannon toiminnanohjaus

### 2.4.1 Yleistä tuotannonsuunnittelusta ja -ohjauksesta

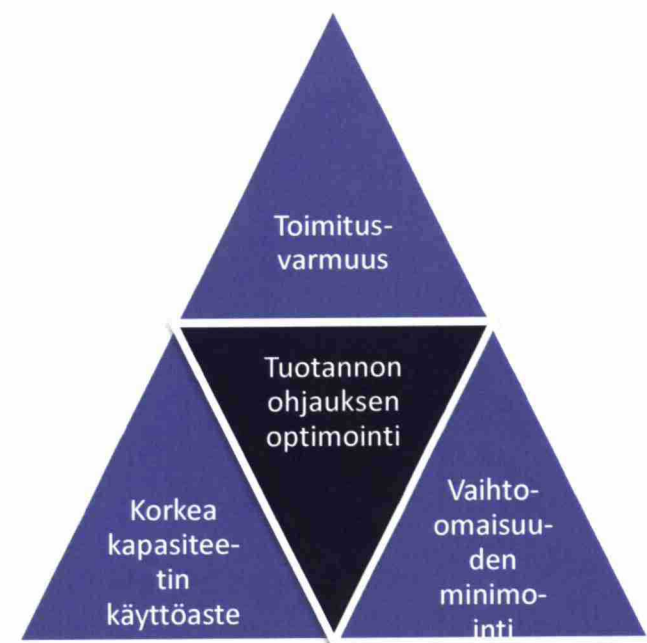
Yrityksen toiminnanohjaus on monipuolinen, useista toiminnoista koostuva hierarkkinen kokonaisuus. Toiminnanohjauksen hierarkia on kuvan 8 mukainen. Tuotannonohjaus ja -suunnittelutoiminto (kuvassa) on tuotannon organisoiija, joka toimii, myynnin, oston ja tuotesuunnittelun välikätenä ja koordinoijana tuotannon

kesken. Yrityksen päämääränä on strategisten tavoitteiden toteutuminen parhaalla mahdollisella tavalla käyttäen hyväksi yrityksen keskeisiä toimintaperiaatteita ja pelisääntöjä.[12, s. 397][1]



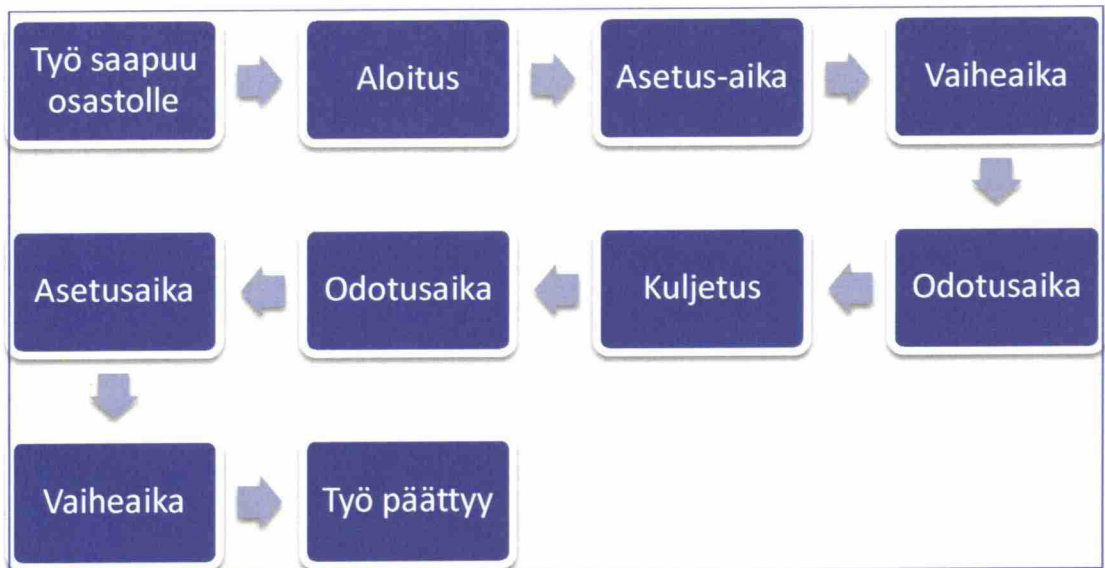
**Kuva 8. Tuotantotoiminnan hierarkia[12, s. 397]**

Tuotannonohjaus ajoittaa ja reitittää tehtaalle tulevia asiakastilauksia. Asiakastilaukset sijoitellaan luontevasti tehtaan tilauskantaan: kuormittamalla tuotantokapasiteettia tasaisesti korkealla kuormitusasteella, pitämällä luvattu toimitusaika sekä pitämällä samalla mahdollisimman pieni KET:n määrä tuotannossa, jotta pääomaa ei olisi liikaa kiinni vaihto-omaisuudessa. Tavoitteissa on ristiriitaisuuksia, joita tuotannonohjauksen avulla optimoidaan toimivaksi kokonaisuudeksi. Kuvassa 9 nähdään ristiriitaisuudet ja tuotannonohjauksen tavoite optimoida niitä. Tavoitteista on joustettava, jotta tuotanto olisi tasapainossa ja toteutettavissa. [12, s. 404].



**Kuva 9. Tuotannonohjauksen ristiriitaisuuksien optimointi.**

Kaikkia ristiriitaisuuksia (kuva 9) voidaan parantaa samanaikaisesti läpäisyaikaa lyhentämällä. Lyhyt läpäisy aika vähentää KET:iin sitoutunutta pääomaa, kehittää toimitusvarmuutta ja laatua sekä helpottaa kapasiteetin suunnittelua. MTO-tuotannossa läpäisyajan lyhentäminen vaikuttaa suoraan toimitusaikaan. Läpäisy aikaa voidaan lyhentää välivarastojen poistolla, pienillä valmistuserillä, tuotannon materiaalivirtojen selkeyttämisellä ja optimoinnilla, tuotteiden kuljetusmatkojen lyhentämisellä ja asetusaikoja lyhentämällä. Tuotteiden ja toiminnan laatu parantuu läpäisy aikoja lyhentämällä, koska virheet ja häiriöt tulevat nopeammin esille ja siten niiden juurisytyt tulevat helpommin esille sekä ne pyritään nopeammin korjaamaan. Kuvassa 10 on kuvattuna läpäisyajan rakenne ja siihen vaikuttavia tekijöitä. [12, s. 400–407]



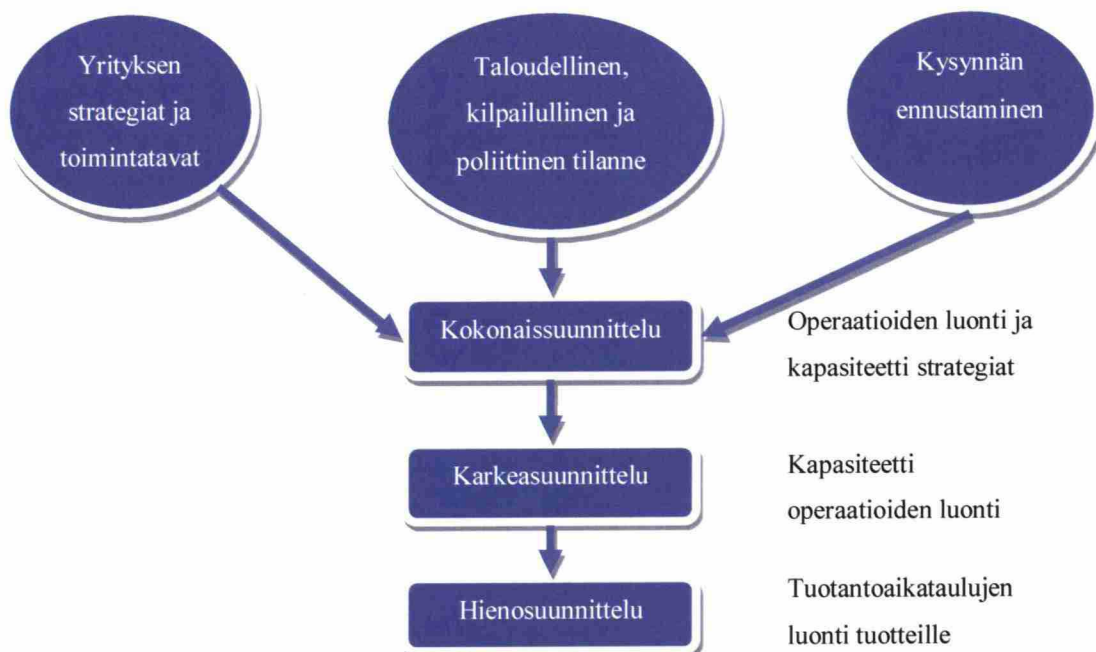
**Kuva 10. Läpäisyajan rakenne. [12, s. 401]**

Tuotantojärjestelmän ohjattavuuteen vaikuttaa useita tekijöitä, joiden ominaisuudet ovat yhteydessä tuotannon tehokkuuteen ja ohjaukseen. Ohjattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat tuotantomuoto, tuotantoyksikön koko, henkilöstön osaaminen ja motivaatio, toiminnan organisointiperiaatteet ja laatu, kapasiteetin joustavuus tuotantomäärän muuttuessa, tuotevariaatiot ja tuotemuutokset, lisäkapasiteetin saatavuus, materiaalinimikkeiden määrä ja ohjattavien työvaiheiden määrä. [12, s. 405]

## **2.4.2 Tuotannonsuunnittelu**

Eri yrityksissä päätöksenteko- ja suunnittelutehtäväprosessit ovat erilaiset seurauksena yrityksen toimialasta ja historiasta. Tästä syystä toiminnanohjausjärjestelmät voivat olla hyvin erilaiset, mutta kolme tuotannonsuunnittelun tasoa: kokonaissuunnittelu, karkeasuunnittelu ja hienosuunnittelu, voidaan erottaa melkein jokaisesta yrityksestä. Kuvassa 11 on kuvattuna suunnittelu vaiheet yrityksissä.[12, s. 409–410][20, s.475]





**Kuva 11. Yrityksen suunnittelun vaiheet[20, s. 475]**

Kokonaissuunnittelussa tehdään tuotannon kokonaisvolyymia ja taloutta koskevat suunnitelmat. Kokonaissuunnittelu perustuu tilauskantaan, menekkiennusteisiin ja varastotilanteisiin. Kokonaissuunnittelun perusteella suunnitellaan kapasiteetti-muutokset, tuote- ja materiaalivarastojen tasot, henkilökunnan palkkaus sekä kausisopimusten teot toimittajien ja alihankkijoiden kesken. [12, s. 410–412][20, s. 475]

Karkeasuunnittelun perustana ovat kokonaissuunnittelun päätökset.

Karkeasuunnittelun lähtökohtana on yrityksen tilauskanta, varastotilanne ja kokonaissuunnittelun tavoitteet. Karkeasuunnittelussa suunnitellaan resurssien käyttö ja toimituskyvyn määrittely. MTO-tuotannossa asiakkaalle luvatut toimitusajat perustuvat yleensä tuotannon karkeasuunnitteluun ja sen kuormitussuunnitelmaan. Kuormitussuunnitelmassa otetaan huomioon tuotannon kapasiteetti ja ylläpidetään kapasiteettitarvetietoja eri tuotteiden osalta.[12, s. 415–416][20, s. 476–492]

Hienosuunnittelussa tehdään tuotannon yksityiskohtainen tuotantosuunnitelma, jonka perusteella valmistetaan tuotteet. Tuotantosuunnitelman pohjana on kuormitussuunnitelman karkea ajoittaminen. Tuotantosuunnitelman tarkoituksena on

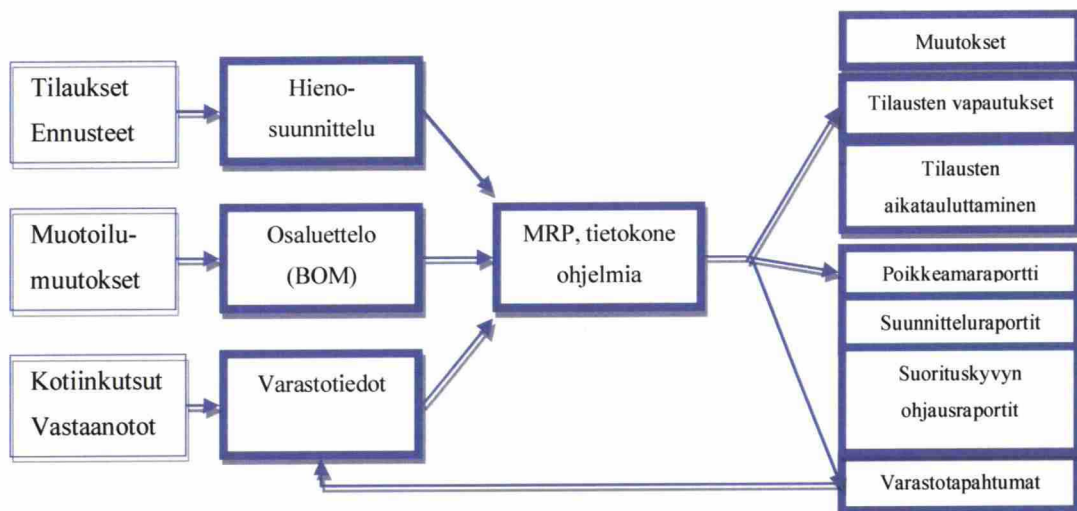
luoda työjärjestys, joka toteuttaa tuotannon eri tavoitteet mahdollisimman hyvin. Tuotantos suunnitelmassa otetaan huomioon tuotteiden ajoittaminen tuotantoon ja tuotevalmistuksen prioriteettisäännöt. Ajoittaminen tehdään joko taaksepäin tai eteenpäin. Taaksepäin ajoituksessa lähdetään viimeisestä tuotantovaiheen valmistumisajasta ja ajoitetaan aikaisemmat vaiheet sen mukaan. Prioriteettisääntöjä voi olla esimerkiksi saapumisjärjestys (FIFO), pelivarat (toimitusajan mukaan), myöhästynein ensin, kallein tuote ensin, nopein tuote ensin, aikaisin aloitusajankohta tai asetuskustannusten minimointi. [12, s. 417–420][20, s. 493–499]

### **2.4.3 Tuotannonohjaustyökalut ja -menetelmät**

Tässä osiossa käsitellään keskeisiä tuotannonohjauksen työkaluja ja menetelmiä. Aluksi tarkastellaan materiaалitarvelaskenta- ja tuotannonresurssiensuunnittelu-järjestelmiä. Näiden jälkeen paneudutaan imu- ja työntöohjausmenetelmiin sekä kapeikko-ohjaukseen.

#### ***Materiaалitarvelaskenta, MRP ja tuotannon resurssiensuunnittelu, MRPII***

Materiaалitarvelaskenta (*Material Requirements Planning*, MRP) on toistuva työntöohjautuvaan perustuva järjestelmä, joka on suunniteltu monimutkaiseen tuotannonsuunnitteluympäristöön. MRP:ssä myyntitilaukset tai myyntiennusteet antavat impulssin tuotantoketjulle, jotka alkavat tilaamaan tai valmistamaan tarvittavia komponentteja, jos niitä ei ole saatavilla. MRP:n avulla materiaali tai komponentti on oikeassa paikassa oikeaan aikaan siten, että se on tilattu ajoissa oikealla määrällä ja tuotteen valmistus noudattaa tuotantos suunnitelmaa. Kuvassa 12 on kuvattuna MRP:n toiminta. Yksinkertaistettuna MRP on tietokoneohjelma, joka käsittelee lähtötietoja (mm. tilaukset ja ennusteet sekä niiden tuoterakenteet) ja muuttaa ne materiaалitarpeiksi ja tuotantoaikatauluiksi.[16][20, s. 511]



**Kuva 12. Yleiskuva MRP- järjestelmästä.[20, s. 511]**

MRP:n etuja ovat kehittynyt asiakaspalvelu, parempi tuotannon ajoittaminen ja tuotantokustannuksien vähentyminen. MRP:n huonoja puolia ovat kapasiteettirajoitusten huomioimatta jättäminen ja häiriöherkkyys, joka johtuu tuotantopoikkeamista, tuoterakennemuutoksista ja varastosaldojen virheellisyyksistä. Tuotannonpoikkeamassa MRP-järjestelmä voi työntää lisää tavaraa jatkojalostettavaksi vaiheelle, joka on häiriötilassa. Varastosaldot ja tuoterakenteet täytyy pitää alituisesti ajan tasalla, koska muuten haluttua komponenttia ei välttämättä ole saatavilla varastosta tai komponentin valmistus puuttuu tuotantosuunnitelmasta.[16]

Vaikka MRP on kehitetty 60-luvulla, se on edelleen tärkeä menetelmä tuotannonohjauksessa ja -suunnittelussa. Vuonna 2003 tehdyn tutkimuksen mukaan yksi kolmesta tuotantoyrityksestä käyttää MRP:n kaltaista järjestelmää. [16]

MRP:n pohjalta on kehitetty 80-luvulla paremmin kokonaisuuden hallitseva järjestelmä, tuotannon resurssien suunnittelujärjestelmä (*Manufacturing Resource Planning*, MRPII), johon on integroitu MRP-toimintojen lisäksi suurempi määrä yrityksen operatiivisista toiminnoista. MRPII-integroituja operatiivisia toimintoja ovat tuotteen reitityksien hallinta, läpimenoajan laskenta, kapasiteetin huomiointi sekä kustannustenhallinta ja taloushallinnan näkökulmat. MRPII:ssa on MRP:hen



verrattuna palautekanava (*closed-loop, feedback loop*), jonka avulla tuotantoa voidaan säätää tarvittaessa. Palautekanava huomioi ongelmat ja tuotannon kyvykkyyden valmistaa tuote halutussa ajankohdassa joko korkean kapasiteetin käytön takia tai valmistusongelmien takia. [16] [1, s. 182][20, s. 526–527]

MRPII:sta seuraava kehitysaskel on ERP-toiminnanohjausjärjestelmä, johon on integroitu yrityksen eri ohjelmistoja. ERP-järjestelmä yhdistää taloushallinnon ja tuotannonohjauksen ohjelmistot. ERP:ssä voi olla sekä MRP- että MRPII-tasoista laskentaa. Kappaleessa 2.7 käsitellään syvemmin ERP-järjestelmiä.

### ***Työntö- ja imuohjaus***

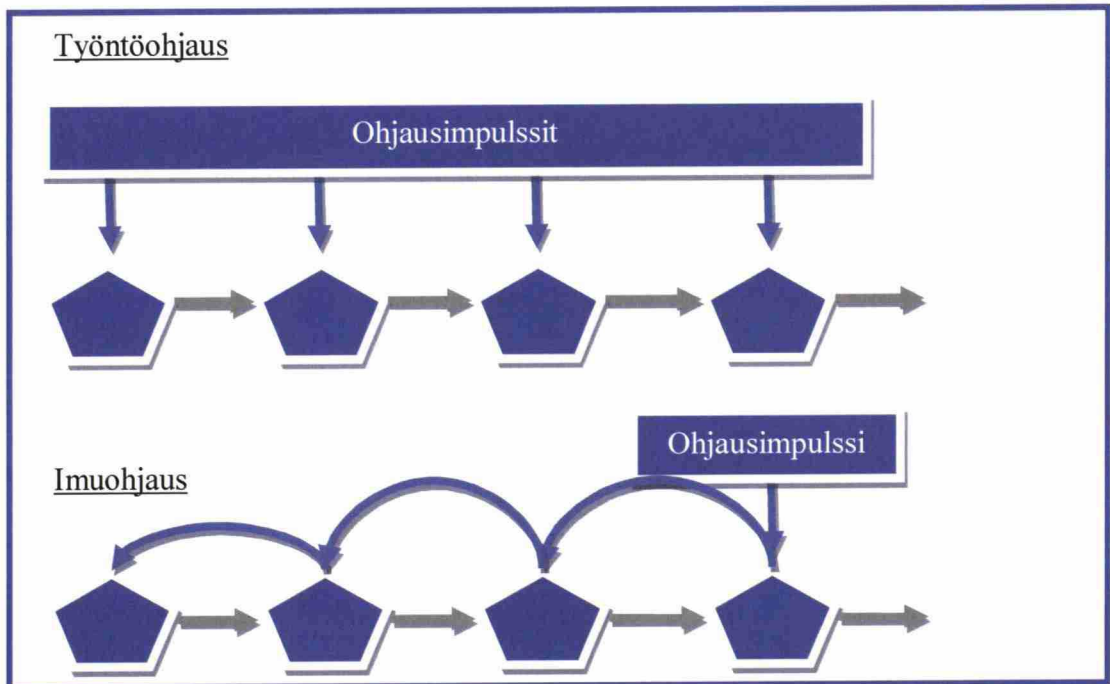
Työntö- ja imuohjauksen valintaan vaikuttaa OPP:n sijainti yrityksessä. Tilausohjautuvaan tuotantoon sopii imuohjaus ja ennusteisiin pohjautuvaan tuotantoon työntöohjaus.

Työntöohjaus on eniten käytetty tuotannonohjausmenetelmä. Se soveltuu kaikkiin tuotantomuotoihin. Työntöohjauksessa osakomponentteja jatkojalostetaan työntämällä valmistuneita komponentteja seuraavaan vaiheeseen. Työntöohjauksessa kaikkia tehtäviä ohjataan ja koordinoidaan tuotantosuunnitelman mukaisesti. Tuotantosuunnitelma tulee erillisen suunnitteluorganisaation tekemänä. Työntöohjauksessa valmistusprosessin pitää olla selkeää ja hallittavissa olevaa sekä siltä vaaditaan hyvää laatua ja kurinalaista toimintaa. [12, s. 422]

Imuohjaus on tuotannonohjausmenetelmä, jossa ohjausimpulssi tulee viimeiseltä valmistusvaiheelta, ja sitä ohjataan. Imuohjauksessa viimeisestä tuotantovaiheesta lähtee pyyntö aikaisempiin tuotantovaiheisiin valmistustarpeesta, joka kulkee läpi koko tuotantoketjun. Imuohjauksessa tuotannonohjaus perustuu puskurivarastojen tyhjenemiseen tai tilauskortteihin, joista lähtee pyyntö aikaisempaan vaiheeseen. Tilauskortteja kutsutaan myös kanban-korteiksi. Imuohjaus soveltuu vakio-osille ja materiaaleille, joiden kysyntä on varsin tasaista. Imuohjauksessa valmistuksen pitää olla läpäisyajaltaan lyhyttä ja laadun virheetöntä. Imuohjauksen hyviä puolia ovat varastosaldojen virheiden tai valmistuksenohjauksen ongelmien häiritsemättömyys imuohjausjärjestelmässä. [12, s. 422–423]



Kuvassa 13 on kuvattu työntö- ja imuohjaus, josta nähdään selkeämmin niiden eroavaisuudet.



Kuva 13. Työntö- ja imuohjaus[12, s. 423]

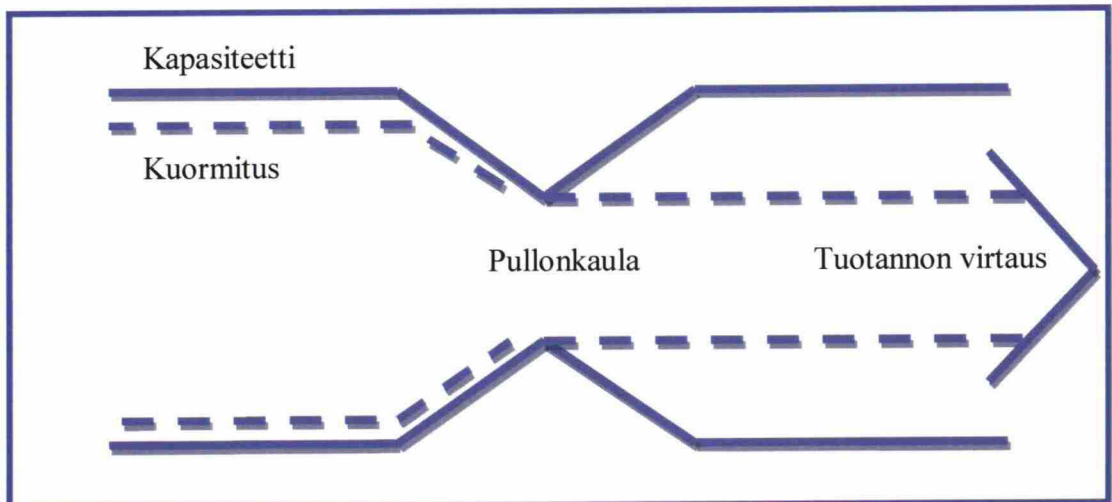
### **Kapeikko-ohjaus ja tuotantovaiheiden tasaaminen**

Kapeikkoajattelu lyhemmin TOC (*theory of constraints*) tai DBR (*Drum-Buffer-Rope*, TOC:n tuotantoaikatauluttamisesta kutsuttu nimitys) tuli 80-luvulla MRP:n ja JIT:n (*Just-In-Time* ks. Kappale 2.4.4) rinnalle. TOC-ohjaus kehitettiin OPT-tuotannonohjausohjelmistosta (*Optimized production technology*), jonka tavoitteena on tuotannon pullonkaulojen korostaminen ja muun tuotannon tahdistus pullonkaulavaiheiden tahtiin.[16][1, s. 283]

TOC-filosofia on tuotantomalli, jossa tuotantoprosessin tuotantovaiheita, joiden läpimenoajat ovat pidemmät kuin muilla tuotantovaiheilla, pidetään koko tuotantoprosessin suorituskykyä kuvaavina ja rajoittavina tekijöinä. Näitä tuotannon kapeikkoja tai ns. ”pullonkauloja” pyritään poistamaan tuotannosta. Pullonkaulojen poistamisen perimmäinen tarkoitus on yrityksen tuloksentekokyvyn parantaminen. Pullonkaula on tuotannossa tai yrityksessä jokin toiminto, kun se ei pysty

tydyttämään siltä vaadittavaa kysyntää. Se voi olla MTO-yrityksessä esimerkiksi tuotesuunnittelu, osto, myynti, tuotanto (työntekijä ja/tai työkone) tai tiedon kulku. Pullonkaulavaihetta pyritään kuormittamaan maksimaalisesti, jotta pullonkaulavaiheesta saataisiin maksimi kapasiteetti käytettyä. Korkeaan pullonkaulan kuormitettavuuteen päästään, kun perustetaan puskurivarasto pullonkaulavaiheeseen, joka syöttää jatkuvasti pullonkaulavaiheeseen jatkojalostettavia tuotteita. [1][20][12][16]

TOC:n yhtenä tavoitteena tuotannossa on jatkuvan virtauksen kasvattaminen eli kapasiteetin kasvattaminen alentamalla varastotasoja ja käyttökustannuksia sekä tasoittamalla tuotantovaiheita. Kuvassa 14 on kuvaus kapeikosta tuotannossa. [20]



**Kuva 14. Kapeikon vaikutus tuotannon virtaukseen.[20]**

Tuotannon pullonkaulavaiheiden poistoilla saavutetaan huomattavia etuja. Etuja ovat läpimenoajan ja jaksoajan lyhentymisen, KET:n väheneminen, toimitusvarmuuden parantuminen ja liikevoiton kasvaminen. TOC-filosofiaa voidaan käyttää MTO-tuotannossa ja erityisesti korkeasti asiakasräätälöidyssä teollisuudessa. MTO-tuotannossa TOCin avulla saavutetaan korkeampi suorituskyky tuotannon virtaukseen ja eri skenaarioihin. [16]

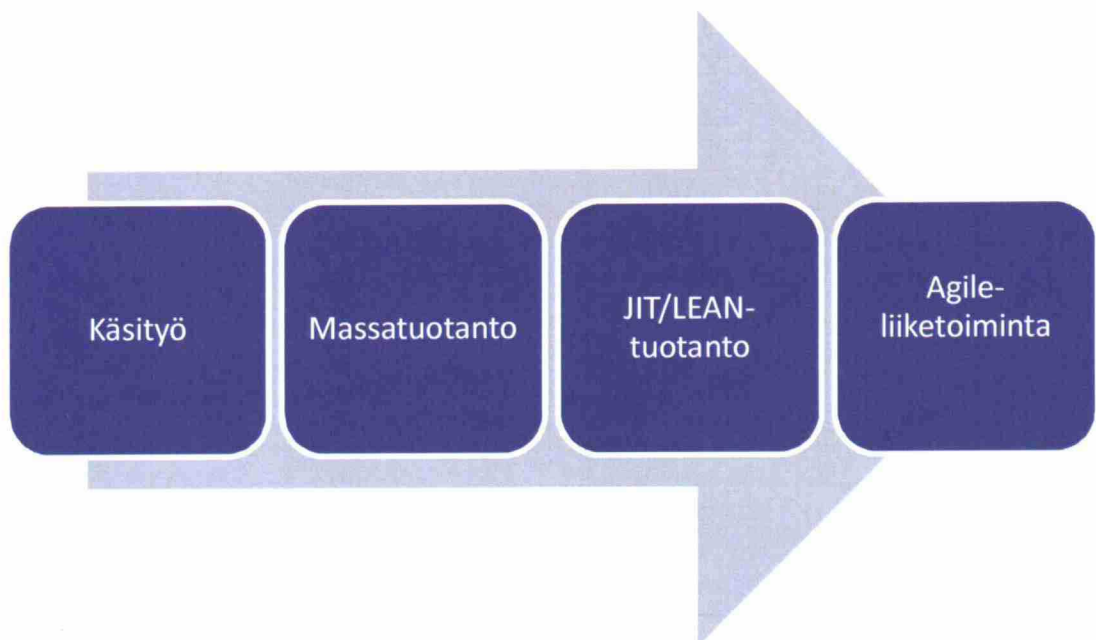
TOC-filosofiaa on kritisoitu siitä, ettei se ole optimaalisin järjestelmä ja että sen vertaileminen ja objektiivinen tarkkailu muihin järjestelmiin on hankalaa, mm.

pullonkaulat ja tuotannon kapeikot siirtyvät aika ajoin ja muodostuvat minne vain tuotantoon. Myöskään ei uskota sen soveltuvuuteen erittäin monimutkaiseen MTO-tuotantoympäristöön.[16]

#### 2.4.4 Tuotantofilosofiat tilausohjattuun tuotantoon

MTO-tuotannossa on hyvin tärkeää se, että tuotannon joustavuus, hankintatoimen suorituskky ja tuotteiden valmistus ovat nopeatempoisia, koska keskeneräiseen tuotantoon sitoutuu paljon yrityksen pääomaa, ja asiakas haluaa tuotteen nopealla toimitusajalla ja korkealla laadulla. Myös globalisoituminen ja kilpailun koveneminen turbulenssisilla markkinoilla lisäävät yritysten tarvetta tehokkuuden parantamiseen. Yrityksen kannattavaan toimintaan ja markkinoilla selviytymiseen tarvitaan tuotantofilosofioita, jotka tukevat hyvin MTO-tuotantoa.

Tuotantofilosofiat ovat muuttuneet ajan kuluessa niin, että ajattelu on mennyt MTO-tuotannon suuntaan. Kuvassa 15 nähdään miten tuotantofilosofiat ovat muuttuneet vuosikymmenten saatossa, ja mitkä ovat nyt suosittuja tutkimuskirjallisuudessa.[12, s. 3623–64][22]



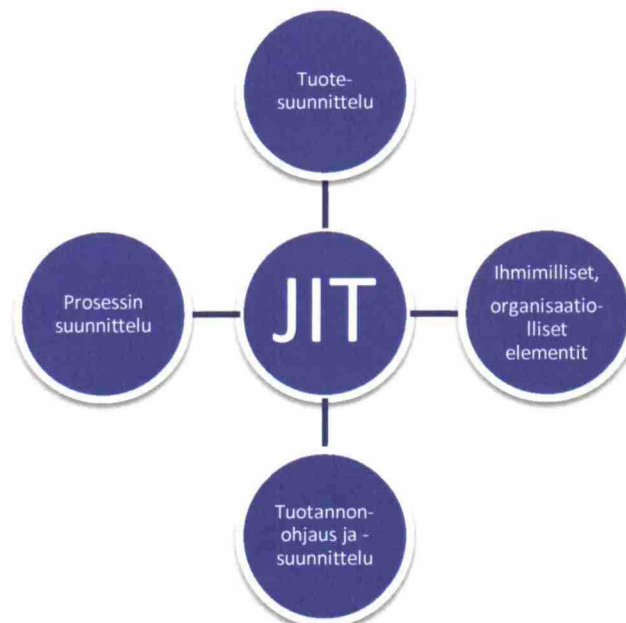
**Kuva 15. Tuotantofilosofioiden kehityskulku. [12, s. 362–364]**

Seuraavaksi käydään läpi JIT-, LEAN- ja AGILE-tuotantofilosofiat.

## **JIT-tuotantofilosofia**

JIT-tuotantofilosofian perusajatuksena on tuotannon tehokkuuden parantaminen. Tavoitteena on kehittää jatkuva tuotantoprosessi, joka täsmällisesti ja joustavasti vastaa asiakkaiden kysyntään.

JIT-tuotanto rakentuu ja yhdistää kuvan 16 mukaisesti neljä eri rakennuspalikkaa: prosessin suunnittelu, tuotesuunnittelu, tuotannonohjaus ja -suunnittelu sekä inhimilliset/organisaatiolliset elementit. JIT muodostaa yhdistävän tekijän näiden neljän alueen kesken. Tuotesuunnittelun kriittiset kohdat JIT:n kannalta ovat tuotteiden suunnittelu valmistusta silmällä pitäen ja osaluettelon komponenttimäärien vähentäminen minimiin. Tuotannonohjauksen ja -suunnittelun JIT:n kannalta kriittiset kohdat ovat ohjausmenetelmät ja yleiset tuotannonsuunnittelumenetelmät. Inhimilliset, organisatoristen elementtien kriittiset kohdat JIT:n kannalta ovat jatkuva parantaminen, monitaitoisuus, prosessien kehittäminen, jatkuva oppiminen ja muut tekijät, jotka parantavat työntekijöiden suorituskyykyä. Prosessin suunnittelussa kriittinen kohta JIT:n kannalta on tuotantovaiheiden vähentäminen, ja tavoitteena on nopea tuotannonvirtaus ja minimi varastointi niin, ettei tuotantokomponenttien jäljittäminen ole tarpeellista. [1, s. 332–333]



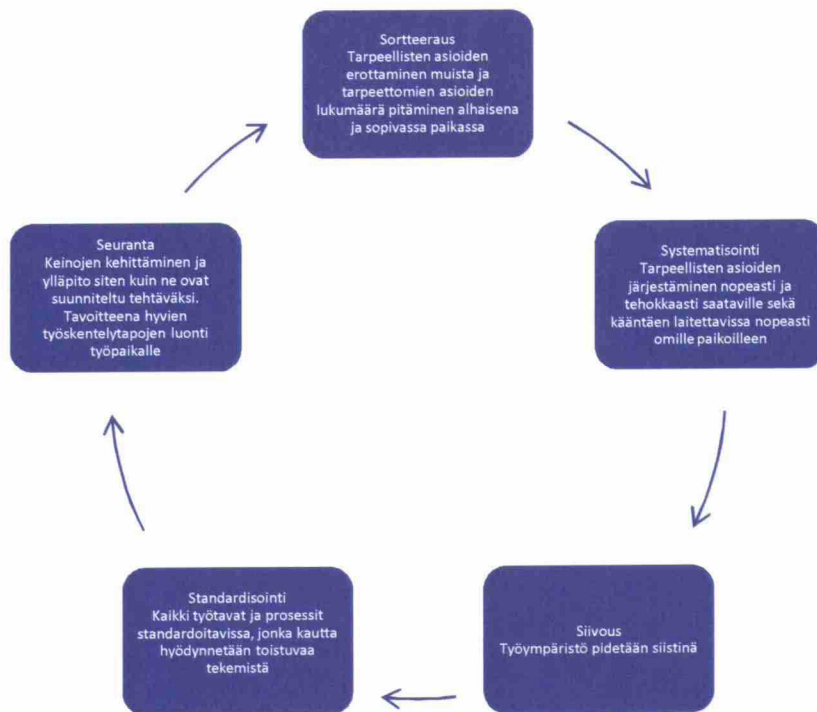
**Kuva 16. JIT-tuotantofilosofian rakennuspalikat.[1, s. 332]**



JIT-ajattelussa välivarastoinneille ei ole tarvetta tai niiden ei tarvitse olla suuria. Välivarastot poistetaan tuotannolla, jossa valmistusvaiheeseen toimitetaan edellisten valmistusvaiheiden komponentit, alihankkijoiden komponentit ja raaka-aineet oikeaan aikaan täsmälleen silloin kun niitä tarvitaan. JIT-tuotanto on onnistunut, jos jokaiselta työpisteeltä on poistettu kaikki turha työ ja työpisteellä tehdään vain asiakkaan näkökulmasta lisäarvoa tuottavaa työtä. Turhaa työtä eli hukkaa ja tuhlausta aiheuttavia tekijöitä tuotannossa ovat liike, odotusaika, ylituotanto, kuljetukset, yliprosessointi ja vialliset tuotteet. [1, s.329]

JIT-tuotantofilosofian tavoitteena on jatkuvasti virtaava tuotanto siten, että jokainen tuotantovaihe valmistuu samassa tahdissa eli tuotannonvirtaus säilyy tasaisena ja jatkuvana. Jatkuvassa virtauksessa materiaalivirrat ja tuotanto on järjestetty ja suunniteltu selkeiksi ja tehokkaiksi, jolloin päästään korkeaan tuottavuuteen, pieneen sitoutuneeseen pääomaan, korkeaan laatuun ja nopeaan läpäisy aikaan. Tavoitteiden toteuttamiseksi soveltuu hyvin solutuotanto-layout-malli. Solutuotanto on hyvin joustavaa ja mahdollistaa eri tuotevariaatioiden valmistamisen nopeasti ja tehokkaasti. Solutuotannossa työkonet tai vaiheet asetetaan ryhmiksi, jotka valmistavat tietyn tyyppistä tuotetta tai komponenttia. Solutuotannon työntekijät ovat hyvin koulutettuja ja moniosaajia, jotka osaavat tehdä kaikkia vaiheita samassa solussa. Solutuotanto minimoi etäisyydet ja varastot eri koneiden väleissä.[1, s.329] [2, s. 18-1][12, s. 428]

Myös työpisteiden organisoinnilla parannetaan tuotannon virtausta. Organisointiin voidaan käyttää 5S-periaatetta. 5S tulee japanilaisista sanoista seiri (sortteeraus), seiton (systematisointi), seiso (siivous), seiketsu (standardisointi), ja shitsuke (seuranta). 5S-periaatteen tarkoituksena on ylläpitää työpiste siistinä ja järjestyksessä. Kuvassa 17 on 5S-toimintaperiaate esiteltynä. 5S-periaatteen lopullisena tarkoituksena on lähestyä pienin askelin kokonaisvaltaista laatukeskeistä tuotantoympäristöä. [1, s. 329] [3]



**Kuva 17. 5S-toimintaperiaate**

JIT-tuotannon hyvänä puolena voidaan pitää saavutettua korkeaa laatutasoa. Mahdolliset laatuvirheet ja niiden syyt tulevat nopeasti esille tuotannossa, koska laatuvirheet pysäyttävät osan tuotantoketjusta. Tämän johdosta laatuongelmat ratkaistaan nopealla aikataululla. Muita JIT-tuotannon hyviä puolia ovat lyhemmät tuotannon läpimenoajat, lyhemmät materiaalisiirrot, vähemmän materiaalisiirtoja varastoihin ja varastoista, vähemmän transaktioita, tuotannon ohjauksen selkeytyminen, nopeammat asetusajat, parempi vastaavuus markkinoiden kysyntään, pienemmät varastot, pienemmät työntekijäkulut, tyytyväisemmät työntekijät, parempi tiimityöskentely, tuotantotilan vapautuminen, pienemmät laatu- ja laadun kustannukset ja laadun parantuminen. JIT-tuotanto tarvitsee toimiakseen motivoituneita ja monitaitoisia työntekijöitä, luotettavia tuotantoprosesseja, tasaisia valmistusvaiheita (ei kapeikkoja tuotannossa), lyhyitä asetusajoja ja pieniä eräkokoja. [12, s. 429] [1, s. 330]

JIT myös edesauttaa yritystä fokusoimaan tavoitteet jatkuvaan parantamiseen, sillä se pyrkii koko ajan parempaan lopputulokseen mm. minimoimalla aikaa, energiaa, materiaaleja ja virheitä, joita tapahtuu joka puolella yritystä. JIT-yrityksissä jatkuva

parantaminen on jokapäiväistä toimintaa, jota tapahtuu yrityksessä kaikilla organisaationtasoilla. Parannukset tapahtuvat pienin kehitysaskelin tuotantotapoihin ja tuotteeseen. [1, s. 328–329, 346]

JIT-tuotantofilosofiaa on mahdollista soveltaa MTO-tuotantoon, jossa on tasainen kysyntävirta ja tuotevariaatioiden määrä niukahko. Tämä soveltuu tuotantoon, jossa on tärkeitä vastata asiakkaan tilaukseen nopeasti ottaen huomioon tuotannon tasaukset ja muut erityispiirteet. Tuotannon tasauksella tarkoitetaan tuotannonsuunnittelua siten, että eri tuotevariaatiot valmistuisivat tuotannossa tasapainoisesti niin, ettei tulisi ylikuormitus- tai alikuormitustilanteita. [1, s. 328–329, 346]

### ***Lean tuotantofilosofia***

MTO-tuotantoon sopii joissakin tapauksissa LEAN tuotantofilosofiaksi. LEAN-tuotantofilosofian tavoitteena on laadun parantaminen, kustannustehokkuus, lyhyt toimitusaika, työturvallisuus ja asiakasfokus. LEAN-tuotantojärjestelmä käyttää resursseja niukasti ja tuottaa korkealaatuisia tuotteita. LEAN sopii MTO-tuotantoon, jos OPP on enemmän MTS-tuotannon puolella (ks. kuva 3), koska LEAN ei ole niin joustavaa kuin esimerkiksi Agile-liiketoiminta. LEAN pyrkii enemmän kustannustehokkuuteen kuin toimintojen nopeaan muuttamiseen ja tuotteiden vaihdoksiin. Näin LEAN sopii MTO-tuotantoon, jossa tehdään tuotteita asiakasräätälöidysti vakio-osista.[22]

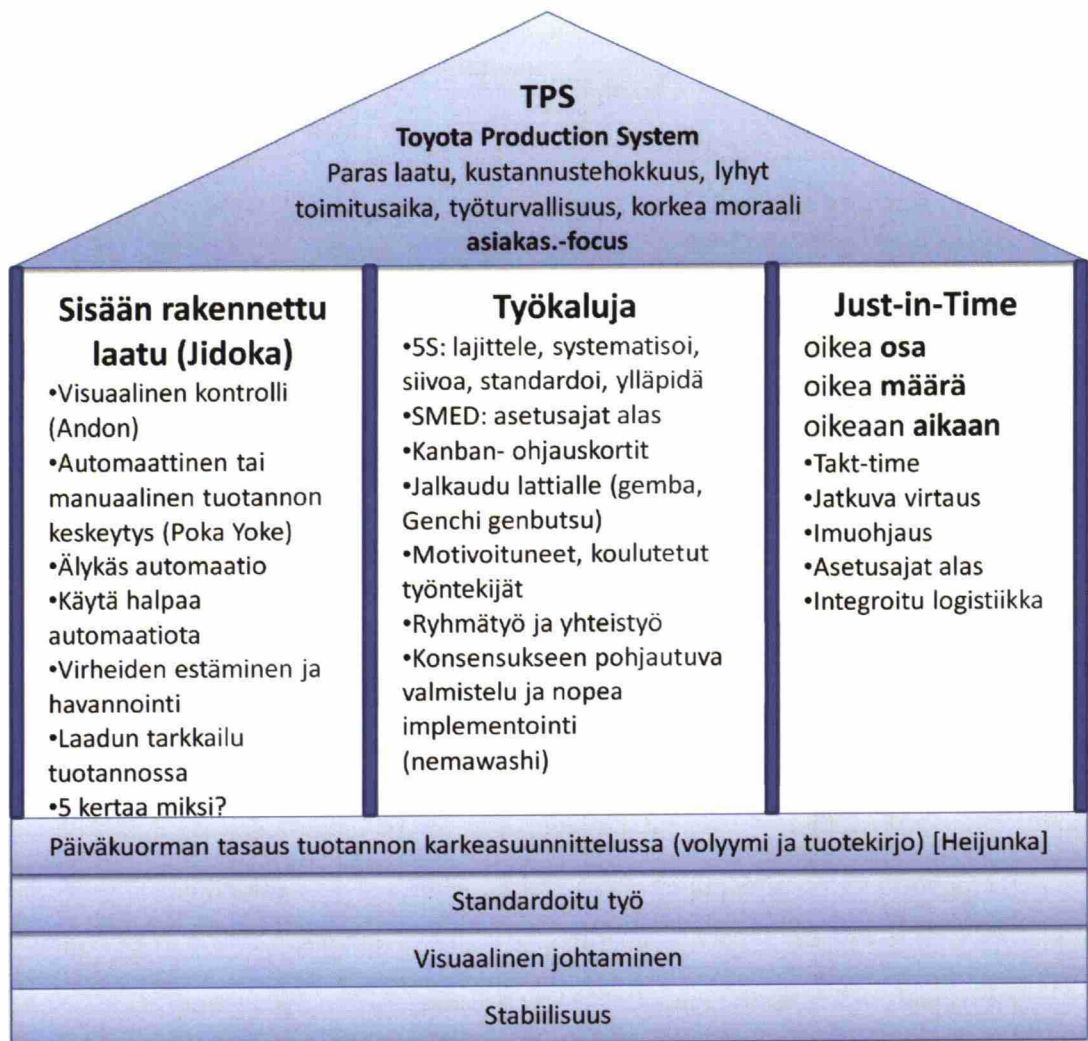
LEAN-tuotantofilosofiaa on onnistuneesti implementoitu MTO-tuotantoympäristöön, jossa tuotteet ovat asiakasräätälöityjä ja eräkoot pieniä. J. Slomp et al.[15] implementoivat LEAN-tuotantofilosofiaa onnistuneesti MTO-tuotantoympäristöön ja paransivat tuotannon suorituskykyä 55- 80 %. Tämä todistaa sen, että LEAN-tuotantofilosofiaa on mahdollista soveltaa MTO-tuotantoympäristöön.

LEAN-tuotantofilosofian perustana on Toyotan tuotantojärjestelmä (Toyota Production System, TPS), johon on lisätty mukaan arvoketjut. TPS-tuotantojärjestelmä muodostuu JIT-tuotantofilosofiasta, sisäänrakennetusta laadusta ja jatkuvasta parantamisesta sekä näihin liittyvistä työkaluista, kuten 5S,

Kanban-ohjauskortit, asetusajkojen minimoinnit, työn ja materiaalien standardisoinnit, ryhmätyö ja yhteistyö. Kuvassa 18 on kuvattuna TPS-talokaavio, jonka tarkoituksena on kuvata sitä, että jokainen osa kokonaisuudesta on tärkeä ja ilman kaikkien osien olemassaoloa kokonaisuus on epätasapainossa ja tehoton. [3][6]

Lyhyesti sanottuna LEAN-tuotantofilosofia käyttää tehokkaasti resurssejaan hukkan minimoimisen kautta. Fokus hukkan ja arvoa tuottamattomien toimintojen eliminointiin tekee yrityksestä kustannustehokkaan ja resurssejaan järkevästi käyttävän organisaation. Hukkaa eliminoidaan niiden ilmeisistä lähteistä kuten tuotantoprosesseista, asetusajoista, tuotteiden korjauksista, epäluotettavien koneiden vaihdoista, ja muista lähteistä kuten vaihtelevuudesta. Vaihtelevuuden minimoinnilla tarkoitetaan vaiheajkojen, toimitusajkojen ja muiden vaihteluille alttiiden toimintojen vakauttamista ja vähentämistä. Vaihtelevuuden minimointi vähentää puskurikustannuksia. LEAN-ajattelun avulla saavutetaan suorituskyvyn parannuksia kustannustehokkuudessa, tuotteiden laadun yhdenmukaisuudessa, toimitusnopeudessa ja käyttövarmuudessa. Parannusten avulla saavutetaan korkeampi resurssien tuottavuus- ja käyttöaste, alemmat yleiskustannukset, alemmat varastointitasot ja nopeampi tuotteiden kiertokulku sekä tuotteiden läpimenoajat. [22]





Kuva 18. TPS-talokaavio[3, s. 33.][6]

### Agile-liiketoiminta

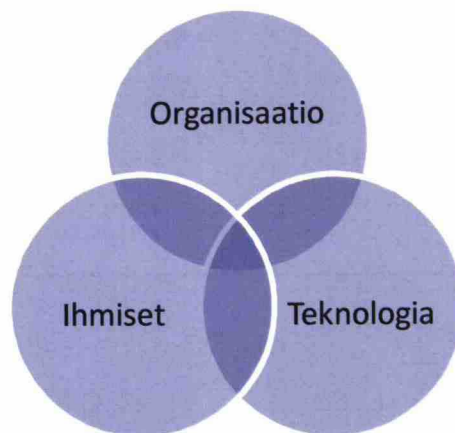
Agile-liiketoiminta on kehitetty turbulenssisilla markkinoilla selviytymiseen, jossa kysyntää on hyvin vaikea ennustaa ja kysyntä on hyvin epätasaista.

Agile-liiketoiminta pyrkii sopeutumaan näihin oloihin käyttämällä hyväksi joustavuutta, osia LEANista ja nykitekniologiaa. Agile-liiketoiminta sopii MTO-tuotantoon, jossa OPP on kuvassa 3 vasemmalla puolella ja tuotteet ovat nopeasti vaihtuvia, lyhyt elinkaarisia ja hyvin asiakasräätälöityjä.[22]

Agile-liiketoiminta tähtää yritykseen tai organisaatioon, jonka tavoitteina ovat nopeampi reagointi asiakkaiden vaatimuksiin, parempi ymmärrys asiakkaiden tarpeista, asiakassuhteiden syventäminen, tuottavuuden parantaminen, tuotteiden

laadun parantaminen, erikokoisista tuotantoeristä ja tuotevalikoimasta selviytyminen, toimittajien liittäminen osaksi tuotekehitystä ja tuotantoketjua sekä tuotteiden läpimenoaikojen lyhentäminen.[23, S. 38]

Agile-liiketoiminnan ideana on integroida yrityksen organisaatio, henkilöstö ja teknologia koordinoimalla ja yhdistämällä ne yhdeksi tasapainoiseksi kokonaisuudeksi (kuva 19). Nykyään annetaan liian paljon arvoa teknologialle ja jätetään ihmiset ja organisaatio pienempään arvoon.[23, S. 41] Kuvan 19 mukaisessa tilanteessa saadaan yrityksestä dynaamisempi ja pystytään nopeammin reagoimaan kysynnän muutoksiin markkinoilla sekä hyödyntämään yrityksen kykyjä käyttäen omaa osaamistaan ja resurssejaan viisaammin. [23, S.40–42]



**Kuva 19. Tavoitteena tasapaino organisaation, ihmisten ja teknologian välillä.** [23, s. 42]

Yksi perusajatuksista agile-liiketoiminnassa on nopeiden kumppanuussuhteiden luominen. Kumppanuussuhteiden tarkoituksena on käyttää yrityksen omia ydinosamaisalueita yhdessä toisten yritysten omien ydinosamaisalueiden kanssa luomalla yhteisyritys. Yhteisyritys tai ns. virtuaaliyritys käyttää eri yritysten resursseja ja tuotantolaitoksia tuotteiden valmistuksessa. Virtuaaliyritykset tekevät agile-liiketoiminnasta hyvin ketterän, ja ne saavat hyödynnettyä asiakkaiden tarpeet nopeasti. Asiakkaiden tarpeiden täytyttyä virtuaaliyrityksen voi helposti lakkauttaa ja kumppanuuden päättää, koska virtuaaliyrityksellä ei ole omaa kiinteää omaisuutta kuten esimerkiksi suuria tuotantolaitoksia tai toimistorakennuksia. Tämä tekee niistä

hyvin joustavia ja ketteriä hyödyntäen nopeasti ja arvaamattomasti muuttuvat kysyntämarkkinat.[22][23]

Agile-liiketoiminnan suurin vahvuus on muutoksiin varautuminen. Jotta muutoksiin voidaan varautua, tarvitaan joustavia valmistusjärjestelmiä, osaavaa henkilöstöä, kommunikointia ja yhteistyötä tiimien välillä sekä tietoliikenneteknologioiden tukea eri osa-alueille, kuten CAD/CAE- (tietokoneavusteinen suunnittelu ja tekniikka) ja ICT-teknologioita.[22][23]

Agile ideana on ydinosaamisen ja liiketoiminnan kehittäminen ketterämpään ja dynaamiseen suuntaan. Jos agile-yrityksen ydinosaamisesta tulee tarpeetonta jatkuvasti muuttuvilla markkinoilla, yritys voi helposti mennä konkurssiin tai liiketoiminnan tulokset voivat laskea rajusti. Ydinosaamiseensa ylierikoistunut yritys voi olla erittäin riskialtis, jos markkinat muuttuvat epäsuotuisaan suuntaan.

Agile-yritys vastaa nopeasti asiakkaiden tarpeisiin ja vaatimuksiin sekä pystyy muuntautumaan nopeasti hajautetun organisaation ansiosta, mikäli se on oikeasti sisäistänyt agile-liiketoiminnan tarkoituksen eikä pidä sitä vain ”trendisanana”. Sisäistäminen voidaan nähdä kilpailukyvyn ja suorituskyvyn kasvuna agile-yrityksessä.

Agile-liiketoimintamallin tarkoituksena on voiton tekeminen muuttuvilla markkinoilla. Massaräätälöinti ja tuotteiden ominaisuuksien muuntelu asiakkaiden tarpeiden mukaisiksi ei ole kustannustehokasta, mutta agile-yritys voi luoda tuotteita nopeasti ja hyödyntää paremmin muuttuvat markkinat. Samalla tuotteiden pitää olla laadukkaita ja suunniteltu niin, että tuote on kerralla valmis ilman tuotantovirheitä ja turhia korjauksia tuotteen elinkaaren aikana. LEAN-tuotantomalli on tehokkaampi malli ja soveltuu paremmin kuin agile-liiketoimintamalli, jos tuotteiden muuntelu on pientä ja tuotantomäärät ovat suuria.[22]

Korkeat suorituskysytavoitteet asettavat korkeat vaatimukset myös tehtaan ulkopuolisille toimijoille, koska ilman koko toimitusketjun tehokkuutta yksittäisen toimijan tehokkuus on turhaa. Tämä edellyttää toimitusketjun yhteisiä tavoitteita ja



sääntöjä. Keskeistä on kahdensuuntainen vuoropuhelu ja oleellisten kysyntä- ja toimitusaikatietojen jakaminen. Aina tämä ei ole mahdollista, jolloin avoimeen yhteistyöhön ei sitouduta. Seuraavassa kappaleessa tarkastellaan lähemmin MTO-tuotannon hankintatoimea ja hankintatoimea yleisesti.

## 2.5 Tilausohjatun tuotannon hankintatoimi

Hankinta yhdistää ulkoisen materiaalivirran sisäisen materiaalivirran kanssa siten, että materiaalivirtaus pysyy tasaisena, ja kaikki tuotantovaiheet pystytään valmistamaan mahdollisimman vaivattomasti. Erityisesti ulkoisten materiaalivirtojen hallinnassa on suuressa osassa toimitusvarmuus, laatu ja kustannustenhallinta. Materiaalivirtojen hallinta ja koordinointi on hyvin monimutkainen ja vaikea tehtävä. Mitä monimutkaisempi ja monimuotoisempi tuote on, sitä vaikeampaa tämä hallinta on. OPP:een sijainti toimitusketjussa vaikuttaa sekä kustannuksiin että saatuihin saataviin hyötyihin. MTO-tuotannossa tilaukset tehdään suoraan tehtaalle asiakastilausten mukaisesti. Tämä mahdollistaa tuotteiden räätälöinnin ja toimittajien paremman tuotannon joustavuuden, mutta pidentää toimitusaikoja.[21]

Tilausohjatun tuotannon hankintatoimi on hyvin monimutkaista, koska osa komponenteista on varasto-ohjautuvaa (vakio-osat) ja osa komponenteista on asiakasohjautuvia ja niitä tilataan alihankkijoilta epämääräisesti sitä mukaan kun materiaalia tai komponenttia tarvitaan tuotannossa tai tuotteen tekemisessä. Erityisesti toimittajan kyky pitää toimitusvarmuus on kriittistä MTO-yrityksessä, koska yhdenkin osan viivästyessä tuotteen läpimenoaika kasvaa.

Hallinnan helpottamiseksi on kehitetty työkaluja kuten DRP (*Distribution Requirements Planning*, ”hankinnan tarpeiden mukainen suunnittelu”), joka yhdistää ulkoiset materiaalivirrat sisäiseen materiaalivirtaan käyttämällä hyväkseen MRP:tä. DRP tarjoaa perustan alihankintaverkoston integroimiseksi varastotietojärjestelmiin ja jakelutoimintoihin. [1, s. 359–380]

Yhä useampien yritysten hankintatoimi on globaalia liiketoimintaa, jolloin hankintatoimen hallinta on vaikeutunut entisestään. Hankintojen hallinnoinnista on tullut yrityksille yhä tärkeämpää ydinosaamiseen keskittymisen johdosta ja muiden



toimintojen ulkoistamisen johdosta. Ulkoistamisesta johtuen hankintojen osuus yritysten liikevaihdosta on keskimäärin 80 %. Kilpailukyvyn kannalta hankintojen johtamisesta on tullut tärkeä osa yritysten strategiaa. Toimittajaverkoston tehokas hyödyntäminen ja ulkoisten resurssien aktiivisella johtamisella saadaan suuria säästöjä aikaan. Säästöjen kautta yrityksen kilpailukyky parantuu, jolloin tuotteita voidaan myydä hieman edullisemmin kuin kilpailijat ja samalla katteet ovat suuremmat. [21]

Maailmanlaajuisen hankintatoimien haasteina voidaan pitää tuontimahdollisuuksien tuntemista (kauppatavat, lainsäädäntö, yms.) ja tuontikaupan osaamista (kyvykkäiden toimittajien kartoitus, laadun varmistus ja luotettavuus). Sen etuina voidaan pitää kilpailuttamisen kautta saatuja hinnanalennuksia, useampia vaihtoehtoisia toimittajia samalla kun saadaan aikaan monipuolinen toimittajaverkosto, jossa otetaan huomioon kyvykkyys, tehokkuus-, hinta- ja teknologiaerot. MTO-tuotannossa, jossa hankitaan monimutkaisia ja räätälöityjä tuotteita tarvitaan tiivistä yhteistyötä toimittajan kanssa. Tämä rajoittaa hankintatoimen kilpailukykyä, koska yhden toimittajan kanssa tehtävä tiivis yhteistyö rajoittaa kilpailua. Tosin tiivis yhteistyö takaa samalla laadukkaita ja vaatimukset täyttävät hankintatuotteet. Samalla maailmanlaajuinen kartoitus eri toimittajiin on vaikea tehtävä, koska toimittajia ei tunneta tarpeeksi hyvin, toimittajien tarjoamat poikkeavat toisistaan tai toimittajia on vaikea vertailla keskenään.[21]

Maailmanlaajuisen hankintaan ja komponenttien logistiikkaan on kehitetty muun muassa rakentamalla tehtaan viereen tai tehtaan läheisyyteen logistiikkakeskuksia (*consolidation center*), joihin komponenttitoimittajat ja raaka-ainetoimittajat toimittavat tavarat kaukomaista keskitetysti. Keskusvaraston avulla pystytään hallitsemaan paremmin materiaalivirtoja ja tuotteiden toimitusvarmuutta. Tehdas tekee materiaalien kotiinkutsuja keskusvarastolta oikeaan aikaan JIT-periaatteita hyväksikäyttäen. Muita hyviä puolia keskusvarastolla on pakkausmateriaalien ja merikonttien tehokas kierrätys, materiaalien vastaanottotarkastuksien teot, varastonhallinta on organisoidumpaa, ja työntekijä kustannukset ovat alhaisempia kuin varaston ollessa tehtaassa. [10, s. 159] [1, s. 359- 360][ 21]

Hallintaverkoston hallintaan ja koordinointiin on kehitetty malli, jolla eri toimittajat analysoidaan ja lajitellaan eri kategorioihin Kraljicin matriisin avulla. Taulukossa 1 on kuvattu Kraljicin matriisi, jossa toimittaja arvioidaan tärkeyden ja kriittisyyden mukaan tiettyyn kategoriaan. Eri kategoriassa oleviin toimittajasuhteisiin panostetaan yrityksen resursseja eri tavoin. Perusajatuksena on yhtäältä se, että kaikkia hankittavia tuotteita ei voi pitää samanarvoisina ja toisaalta se, että jokaista hankintaa pitää tarkastella erillisenä toimintamallina. Tämä on hyvin tärkeä työkalu, kun toimittajia on paljon ja toimittajaverkostoa halutaan aktiivisesti käyttää ja tehostaa sekä suunnata fokus yritykselle tärkeisiin hankkijoihin, joiden suorituskyvyllä on suora vaikutus oman yrityksen suorituskykyyn, niin laatuun kuin toimitusvarmuuteen.[ 21]

**Taulukko 1.. Kraljicin matriisi [21, s. 145]**



Hankintaverkoston suorituskyvyn parantamiseen on kehitetty ongelman ratkaisutyökaluja. Työkaluja ovat mm. 8D, DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) ja 4Q. 4Q on toimintamalli, jossa toimittajan suorituskykyä parannetaan nelikohtaisen ohjelman avulla. Ohjelman kohdat ovat mittaa, analysoi, kehitä ja ylläpidä. Hankintaverkoston kehittämällä ja suorituskyvyn parantamisella

voidaan saavuttaa kustannussäästöä, lyhentää toimitusaikoja ja parantaa tuotteiden saatavuutta. [12, s.465]

LEAN-tuotantofilosofiassa sopimusvalmistajien yhteistyö ja toimittajasuhteet ovat seuraavat: [10, s.45]

- Pieni määrä suoria toimittajia hierarkiarakenteella eli suuret toimittajat hallitsevat ja toimittavat pienten toimittajien tavarat samalla.
- Yksittäinen alihankinta (single sourcing). LEAN-ajattelussa ei toimitusvarmuutta varmenneta useilla toimittajilla, vaan yksi toimittaja toimii yhden komponentin toimittajana, joka kuitenkin varmistaa toimitusvarmuuden solmimalla sopimuksia toisiin yrityksiin toimitusvarmuuden takaamiseksi. Yksittäinen alihankkija kuitenkin on vastuussa toimitusvarmuudesta ja laadusta.
- Yhteistyö tuotesuunnittelussa. Mitä monimutkaisempi komponentti on kyseessä, sitä enemmän tarvitaan yhteistyötä toimittajan ja yrityksen kesken. Erikoiskomponenttien suunnittelu ja tuotannonsuunnittelu tarvitsee molempien yritysten tuotesuunnittelijoiden yhteistyötä, jotta komponentti olisi mahdollisimman valmistusystävällinen, halpa ja laadukas.
- Yhteistyö kustannusten vähentämisestä komponentin valmistuksesta. Tuotannon aikana toimittaja ja yritys toimivat yhdessä vähentääkseen valmistusprosessin kustannuksia. Tämä auttaa toimittajaa tekemään komponentteja halvemmalla ja yritys saa vuorostaan hinnanalennusta komponenteista.
- Yhteistyötä ongelmien ratkaisussa ja hätätapauksien nopea reagointi. Ongelmat esille ja yhteistyöllä ja yhteistuumin ratkaistava. Hätätapauksien tapahtuessa ilmoitettava heti, jos esimerkiksi tuotanto pysähtyy.
- Yhteisöllisyys. Toimittajat ovat organisoitu yhteisöksi. Yhteisö järjestää konferensseja ja yritysvierailuja toisten tiloihin ja osallistuvat toisten yritysten kehitysprojekteihin.

Näitä toimittajasuhteita voi implementoida myös MTO-tuotantoon joissakin määrin. Ajatuksena olisi tiivis yhteistyö muutaman avaintoimittajan kanssa tuotesuunnittelussa ja muissa toiminnoissa. Tämä alentaisi komponenttikustannuksia ja nopeuttaisi alihankkijoiden toimitusvarmuutta ja nopeutta. Myös toimitusketjun



hallinta helpottuisi, kun nyt yhteistyötä tehtäisiin muutaman avaintoimittajan kanssa eikä satojen eri toimittajien.

## **2.6 Simulointijärjestelmät ja optimointi**

Simuloinnilla tarkoitetaan tuotantojärjestelmän mallintamista tietokoneella, simulointimallin kokeellista manipulointia ja simulointitulosten analysointia. Mallin parametreja muuttamalla voidaan tehdä päätelmiä tuotantojärjestelmän toimivuudesta ja käyttäytymisestä. Päätelmät pohjautuvat animaatioihin sekä graafisiin ja numeerisiin tuloksiin. Simulointimallin avulla voidaan myös optimoida tuotantojärjestelmän toimivuutta ja antaa kehitysideoita tuotannon tehostamiseksi.

Simulointimalleilla voidaan tehdä kontrolloituja kokeita, vaikkakin mallit ovat yksinkertaistuksia todellisuudesta. Simulointia tehdessä on hyvä lähteä hyvin yksinkertaisesta mallista. Jos simulointimalli ei anna riittävän tarkkaa tietoa, silloin sitä tulee tarkentaa lisäämällä muuttujien tai tiedon määrää malliin. Mitä tarkempi simulointimalli on, sitä enemmän siihen kuluu aikaa ja rahaa. Simulointimallin tulokset ovat tilastollisia arvioita ja niitä pitää tulkita sellaisina. [7][8]

Simuloinnin käytön yleisimpiä syitä ovat kovan kilpailun aikaan saama tarve tuotannon tehokkuuden parantaminen ja automaatioasteen nostaminen tuotantoprosessissa. Myös eri valmistusfilosofiat, kuten JIT, tarvitsevat simulointia, jotta tuotannon toteutus onnistutaan suunnittelemaan hyvin. Tuotantojärjestelmät ovat usein myös hyvin monimutkaisia ja tarkoin määriteltyjä, joten ilman simulointia niitä ei voi tehokkaasti kehittää ja suunnitella paremmiksi. [8]

Simulointi on yleisin mallinluontitapa, kun rakennetaan mallia, jossa esiintyy suurta satunnaista vaihtelua ja suurta komponenttien määrää sekä väliaikaista dynaamisuutta tuotantojärjestelmässä. Simulointi voi antaa tarkkaa tietoa järjestelmän komponenteista, arvioida järjestelmän käyttäytymistä ajan funktiona, tarjota järjestelmäkohtaisia mittareita tuotantojärjestelmän suorituskyvyn mittaamiseksi sekä täyttää tarkasti tuotantojärjestelmän ainutlaatuisen näkökulman ja tuotantojärjestelmän vaatimukset jokaisesta yksityisestä komponentista. [9]



Simulointia käytetään silloin, kun analyttistä ratkaisua järjestelmästä ei ole mahdollista toteuttaa siten, että se antaisi tarkan vastauksen suorituskykyyn liittyvistä tekijöistä tai ei tiedetä, mitä halutaan järjestelmästä optimoida tai kehittää.

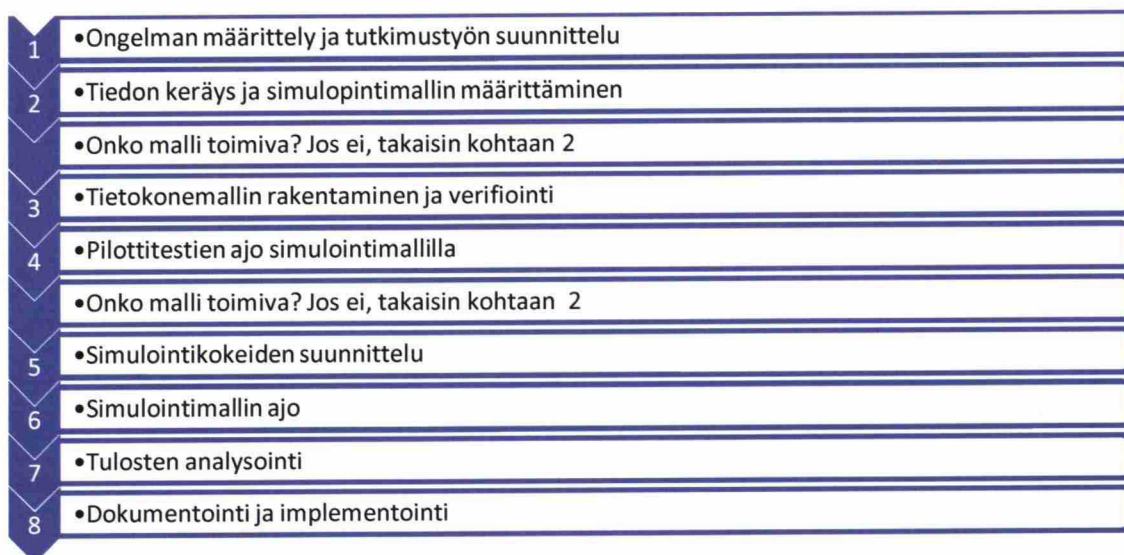
Tuotantojärjestelmään liittyy ainutlaatuisia muuttujia, jotka eroavat matemaattisista oletuksista, ja siten analyttistä ratkaisua ei voida saada aikaiseksi.

Simulointimallinkaan avulla ei yleensä saada optimivastauksia ongelmaan, vaan sen avulla vain eri vaihtoehtojen vaikutusten suuntaviivat saadaan selville. Simulointia käytetään myös silloin, kun halutaan optimoida tuotantojärjestelmää ja saada vahvistusta sekä tietoa tuotannonsuunnittelijan päätöksentekoon.[9][12, s. 421]

Simulointitutkimusta voidaan pitää projektina, jonka avulla selvitetään tuotantojärjestelmän ongelmia ja pyritään löytää ongelmille ratkaisuvaihtoehtoja. Simuloinnin tutkimuksella on yleensä neljä päävaihetta, jotka esiintyvät jokaisessa simulointitutkimuksessa. Päävaiheet ovat: [7]

1. Ongelman määrittely. Noin 20 % projektin kokonaisajasta
2. Simulointimallin rakentaminen ja testaus. Noin 30 % projektin kokonaisajasta
3. Kokeiden suunnittelu ja tulosten analysointi. Noin 30 % projektin kokonaisajasta
4. tutkimuksen päättäminen ja tulosten soveltaminen. Noin 20 % projektin kokonaisajasta

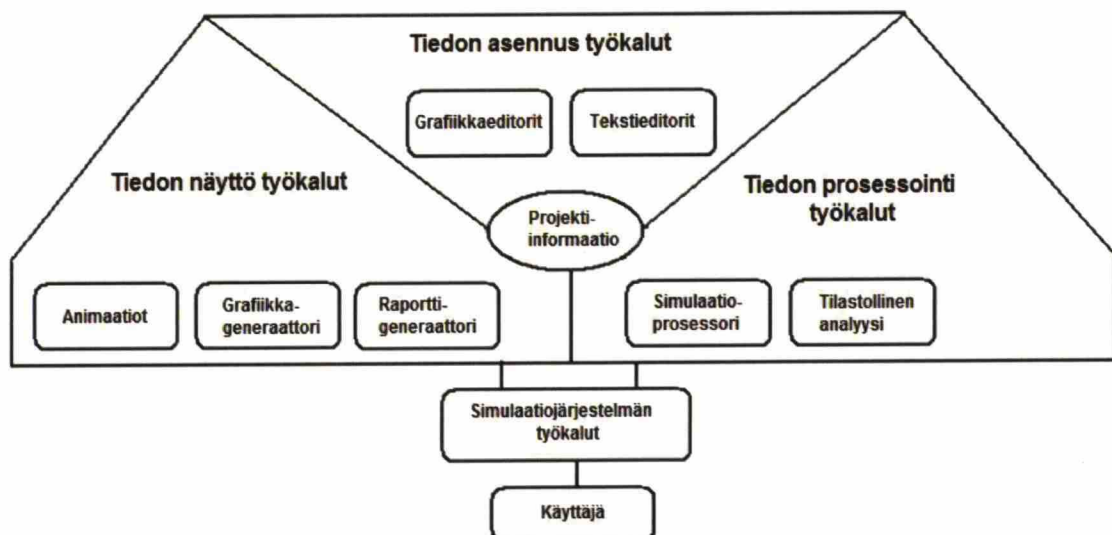
Näiden vaiheiden avulla voidaan jakaa ongelmia pienempiin osiin. Kuvassa 20 on kuvaus tutkimustyön vaiheiden jaosta ja niiden eri tehtävistä.



**Kuva 20. Simulointitutkimuksen vaiheet**

On olemassa satoja erilaisia simulointikieliä ja simulointiohjelmia, jotka soveltuvat sekä järjestelmän suunnitteluun että järjestelmän päivittäiseen käyttöön. Päivittäistä käyttöä varten suunnitellut simulointiohjelmat voivat seurata järjestelmän käyttöastetta, kapasiteettia ja suorituskykyä.

Simulointiohjelmat sisältävät yleensä simulointimallin laatimisen ja rakentamisen työkalut sekä mahdollisuuden mallin simulointiin ja tuloksien raportoimiseen ja esittämiseen. Ohjelmiin on integroitu monia avustavia työkaluja, kuten esimerkiksi graafisten mallien tekeminen, tilastollisten analyysien tekeminen tuloksista, koesuunnittelu, CAD-geometrioiden hyväksikäyttö, animaatioiden kehittäminen sekä raportointi ja graafisten esitysten generoiminen. Kuvassa 21 on simulointijärjestelmän organisoinnin kuvaus, jossa esitetään simulointiohjelman eri osa-alueet ja niiden toiminnot. Simulointiohjelmia on mm. Simul8, Quest, Arena, Witness ja ProModel. Simulointikieli tarkoittaa simulointia varten suunniteltua ohjelmointikieltä, jonka avulla voidaan mallintaa mistä tahansa järjestelmästä simulointimalli, riippumatta järjestelmän toimintatavoista tai ohjausperiaatteista. Simulointikielen avulla on myös mahdollista saada mallista hyvin yksityiskohtainen kuvaus, minkä edellytyksenä ohjelmointitaidon täytyy olla riittävän korkeatasoista. Simulointikieliä on mm. GPSS, SIMSCRIPT, SLAM, SIMAN ja ECSL. [9]



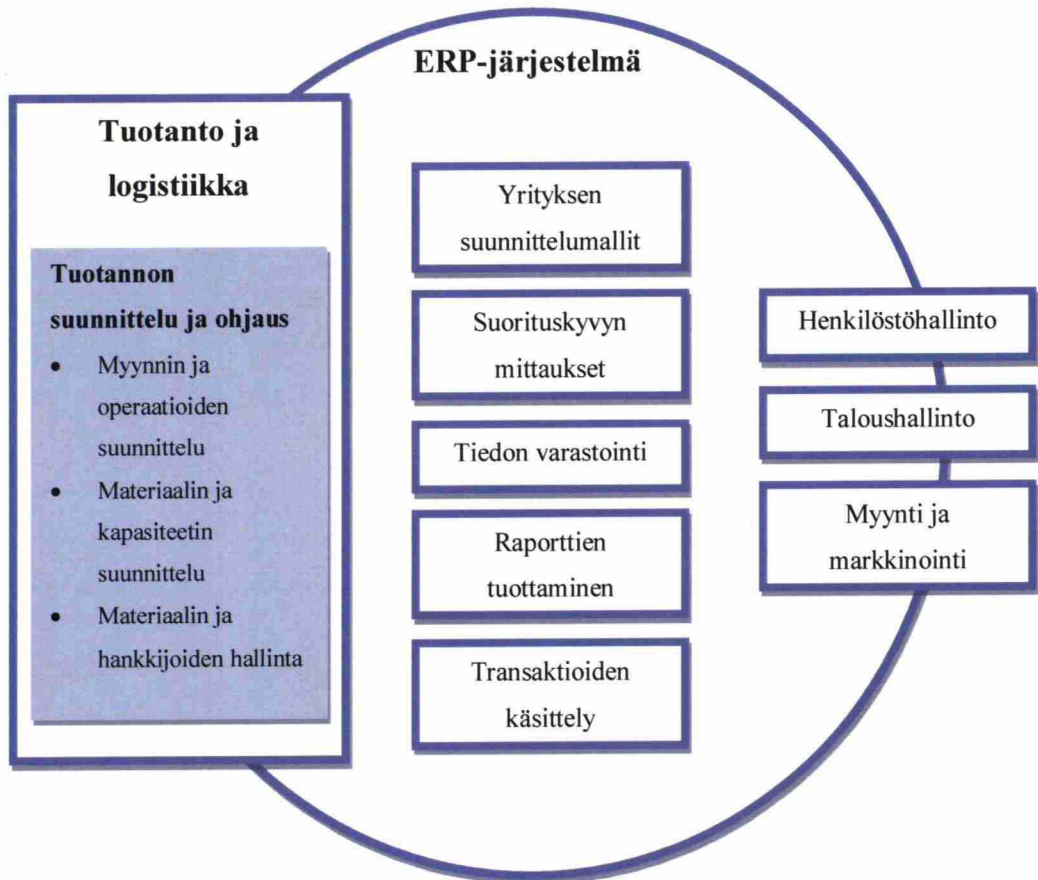
**Kuva 21. Simulointijärjestelmän organisointi. [9]**

## 2.7 Toiminnanohjausjärjestelmät eli ERP-järjestelmät

Toiminnanohjauksen tietojärjestelmä eli ERP-järjestelmä kuuluu jokaisen suuren tai keskisuuren yrityksen toiminnanohjaukseen. Ilman ERP-järjestelmää nykyaikaisten suurten tai keskisuurten yritysten toiminta olisi mahdotonta. ERP-järjestelmän tehtävinä ovat yrityksen perustietojen ylläpito taloushallinnosta tuotantoon, tapahtumatietojen hallinta, tilastointi ja raportointi, asiakirjojen ja dokumenttien tuottaminen sekä toteumatietojen keruu ja ylläpito. ERP-järjestelmät pitävät sisällään kaikki tavallisimmat yrityksen ohjelmistot toiminnanohjauksesta taloudenhallintaan.[12, s. 430]

ERP-järjestelmät ovat integroituja kokonaisuuksia, joihin sisältyvät kaikki yrityksen toiminnot. ERP-järjestelmä yhdistää yrityksen keskeisimmät liiketoimintaprosessit ja liiketoiminnan osa-alueet yhdeksi tietotekniseksi kokonaisuudeksi, jossa koko organisaatio nähdään toisiinsa yhteydessä olevina toimintoina. Yleensä ERP-järjestelmät rakentuvat moduuleista, joihin kuuluu jokin tietty kokonaisuus, kuten markkinointi, HR, osto, myynti, taloushallinto ja -laskenta ja tuotannonohjaus. Eri moduulit pystyvät hyödyntämään toisten moduulien tietoja reaaliajassa ja siten nopeuttavat päätöksentekoa. Kuvassa 22 on kuvaus ERP-järjestelmän eri toiminnoista. ERP-järjestelmään voi linkittää monia muita ohjelmistoja, jotka eivät muuten kuuluisi standardi ERP-järjestelmään, esimerkiksi PDM-järjestelmän

linkitys. Räättälöityjen toimintojen tarve määräytyy yhtiöiden yksilöllisistä tarpeista.[12, s. 430][20, s. 531][1, s. 15]



**Kuva 22. ERP-järjestelmän toiminnot ja laajuus.[1, s. 15]**

ERP-järjestelmän avulla hallitaan tehokkaasti yrityksen kaikkia resursseja ja suunnitellaan keskitetysti liiketoiminnan ja tuotannon toteutusta. ERP-järjestelmän hyvänä puolena ovat:[12, s. 431]

- tiedon jakaminen kaikkien kanssa keskitetysti
- tehokkaampi tietojenkäsittely, resurssien käyttö, hankintojen ohjaus ja liiketoiminnan johtaminen
- nopeampi tietojenkäsittely
- tilausten ja toimitusten parempi hallinta
- reagointinopeuden parantuminen
- kehittyneempi tunnuslukujen ja raporttien käyttö ja analysointi.



ERP-järjestelmän huonoja puolia ovat niiden monimutkaisuus, kalleus ja käyttöönotto sekä ERP-järjestelmän räätälöintitarve, joka johtuu ERP-järjestelmien joustamattomuudesta yrityksen tarpeisiin. ERP-järjestelmän räätälöinti on usein hankalaa ja kallista. Myös henkilöstön koulutustarve ja motivointi uuden ERP-järjestelmän käyttämiseen on haaste yrityksissä, ja uuden ERP-järjestelmän joustamattomuus edellyttää paljon työntekijäresursseja toimiakseen.[12, s. 431]

Tunnetuimmat ERP-järjestelmät ovat SAP, BAAN, PeopleSoft ja Oracle. Seuraavassa kappaleessa tarkastellaan lähemmin SAP ERP -järjestelmää [1, s. 18]

### **2.7.1 SAP ERP -järjestelmä**

SAP (*Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung*) on saksalainen ERP-järjestelmiä tarjoava yritys. Se on myös suurin ERP-ohjelmistoja tarjoava yritys. SAP ERP -järjestelmä tarjoaa yhtenäisen tiedonkulun koko yrityksen sisällä. SAP tukee ja yhdistää tuhansia erilaisia prosesseja samanaikaisesti. [28][26]

SAP ERP -järjestelmää tarjotaan käyttövalmiina järjestelmänä, jota voidaan muokata yrityksen omiin tarpeisiin sopivaksi. Muokattavat sovellukset ovat modulaarisia, jolloin pienempien osien muokkaus on helpompaa kuin koko kokonaisuuden. Se myös sisältää omien tietokantakyselyjen tekemisen kyselykielen OpenSQL:n avulla ja sovelluskehitysympäristön, jota voi koodata joko käyttämällä ABAP- tai Java-ohjelmointikieltä. Uusien sovellusten ohjelmointi vaatii erikoisosaamista ja järjestelmän syvää osaamista.[26][28]

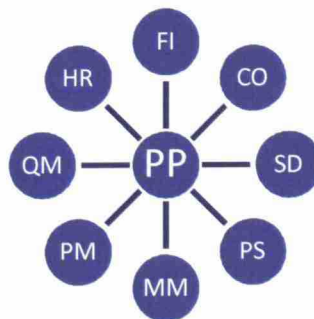
SAP:ssa nimitetään toimintoja käynnistäviä komentoja transaktioiksi. Samoja toimintoja voidaan käynnistää myös selaamalla käyttöliittymässä olevia valikkoja, mutta transaktioiden käyttäminen on helpompaa, ja siinä päivittäisessä käytössä olevat transaktiot voi oppia muistamaan ulkoa. Uusia yrityksen omia transaktioita voidaan luoda koodaamalla edellä mainituilla ohjelmointikielillä.[26]

SAP ERP -moduuleja ovat projektin hallinta (PS), sisäinen laskenta (CO), taloushallinto (FI), henkilöstöhallinto (HR), tuotannon huolto (PM), tuotannonsuunnittelu (PP), materiaalienhallinta (MM), investointienhallinta (IM),

laadunhallinta (QM), tehtävien hallinta (WF), myynti ja jakelu (SD), teollisuuden alakohtaiset moduulit (IS) sekä omaisuuden hallinta (TR). SAP:ssa moduuleista käytetään pelkkiä lyhenteitä moduulien erotettavuudessa, esimerkiksi SAP PP -moduuli.[26]

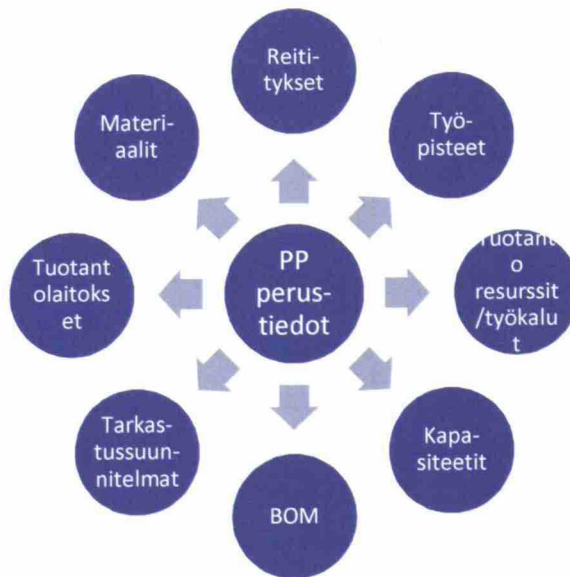
### **SAP PP-moduuli MTO-tuotannossa**

SAP PP (production planning and control) on tuotannonohjauksen ja -suunnittelun moduuli, jonka tarkoituksena on varmistaa tuotannon sujuvuus ja kulku tehokkaasti. PP-moduuli on linkitettyä hyvin moneen eri moduuliin ja hyvin suuressa osassa SAP ERP -järjestelmän kokonaisuudesta. Kuvassa 23 on kuvattuna moduulit, jotka ovat linkitettyä PP-moduuliin.[26]



**Kuva 23. PP-moduuliin linkitetyt moduulit.[26]**

SAP PP -moduuli voidaan jakaa karkeasti osiin toiminta-alueen mukaan. Osia ovat tuotannolliset operaatiot ja rakenteet, tuotannonohjaus ja -suunnittelu, ”master data”, myynnin ja operaatioiden suunnittelu (sales and operation planning, SOP), kysynnän hallinta (*demand management*) ja MRP. Kuvassa 24 on yleisimpiä toimintoja, joita PP-moduuliin sisältyy.[26]



**Kuva 24. PP-moduulin perustiedot[26]**

SAP PP MTO -tuotannossa tuotteet valmistetaan asiakastilausten perusteella. Asiakastilauksilla on kaksi eri arvoa SAP:ssa: suunniteltutilaus (planned order) ja tuotantotilaus (production order). Suunniteltutilaus käännetään tuotantotilauksiksi ennen tuotannon aloittamista. Yleensä käyntö tehdään tuotannonaloituksesta kuukausi aiemmin, jolloin tuotantotilaus on työpisteen työjonossa.

Suunniteltutilaukset ovat myyntitilauksia, jotka tulevat tuotantoon kuukausien päästä nykyhetkestä, tai ennusteita, jotka tulevat esille tuotannon kapasiteettitarkasteluissa. Ennusteet tulevat erillisten työkalujen kautta SAP:iin manuaalisesti syötettyinä ja ovat ns. planned independent requirementteja (PIR), jotka eivät ole sidoksissa yksittäiseen myyntitilaukseen. Ennuste voi olla myös customer independent requirementteja (CIR), jolloin ennuste on sidoksissa tiettyyn asiakkaaseen ja sillä on samat ominaisuudet kuin myyntitilauksella. Näillä molemmilla ennusteilla on eri transaktiot, joiden kautta ne syötetään SAP:iin. PIR-ennusteet syötetään transaktion MD61 avulla ja CIR-ennusteet MD81-85 avulla. SAP PP -järjestelmässä on myös olemassa kulutussääntöjä, joiden avulla myyntitilaukset voivat kuluttaa PIR-ennusteita. Myös CIR-ennusteet voivat kuluttaa PIR-ennusteita. Kulutussääntöjä hallitaan strategioiden avulla, joita SAP:ssa on lukuisia eri tuotantoympäristöille. MTO-tuotannolle on eri variaatioita kulutusstrategioista. Yleisin MTO-tuotannolle



suunniteltu strategia on 20, jossa ei kulutusta tapahdu vaan toimitettu tuote kuluttaa myyntitilauksen pois.[26]

### ***Tilaus-toimitusprosessi SAP ERP -järjestelmässä***

SAP ERP -järjestelmässä tilausprosessi koostuu eri transaktioista ja niiden välivaiheista. Prosessi alkaa tilauksen tekemisellä. Sen jälkeen tarkistetaan akuutti tuotannon kuorman tilanne toimitettavien tuotteiden osalta ja ajoitetaan myyntitilaus tuotannon työjonoon. Tämän jälkeen käynnistyvät tuotteen suunnittelutoiminnot, johon liittyvät ostotoiminnot. Suunnittelun valmistuessa tuotteen rakenne syötetään järjestelmään ja ajetaan MRP. MRP-ajon tuloksena järjestelmä tuottaa hankinta-aloitteita (purchase request) tarvittavista komponenteista. Hankinta-aloitteet käsitellään, jonka jälkeen ne muuttuvat ostotilauksiksi. Ostotilaus lähetetään toimittajalle, jonka jälkeen odotetaan tilattujen komponenttien saapumista. Saapuneet komponentit kirjataan vastaanotetuiksi, ja ne siirretään varastoon tai suoraan tuotantoon. Tämän jälkeen kotiinkutsutaan komponentti, jos se on erillisessä varastossa. Varastossa komponentti ohjataan ensin keräilyyn (tilaus kerätään varastosta). Keräilty komponentti vähennetään varastosaldosta ja lähetetään tehtaalte. Vaihtoehtoisesti komponentteja pitää valmistaa itse. Tässäkin tapauksessa suoritetaan MRP-monijajo lopputuotteelle, jonka perusteella järjestelmä luo hankinta-aloitteita valmiin tuotteen komponenteista. Ostoehdotus muutetaan ostotilaukseksi. [26]

Tarvittavien komponenttien tullessa tehtaalte alkaa komponentin valmistus, joka tehdään tuotantotilauksina (production order), jotka ovat tulleet tuotantomääräyksenä lopputuotteen rakenteesta, reitityksestä ja ”master data” tiedoista. Kun tuotantotilaukset valmistuvat, kuitataan ne valmistuneiksi tuotannossa työntekijöiden toimesta. Kirjauksen jälkeen uudet komponentit näkyvät varastosaldossa ja seuraava tuotantovaihe voidaan aloittaa. Valmiit tuotteet lähetetään asiakkaalle.

Tuotteiden toimitusta seuraa laskutus. Ensimmäisenä luodaan lasku (create billing document) tilaukselle, joka lähetetään asiakkaalle. Lasku pitää myös siirtää kirjanpitoon. Näiden vaiheiden jälkeen voidaan tarkastella tilaus-toimitus -prosessin tuottamia dokumentteja ja raportteja.



### 3 Ohjattavuusanalyysi

#### 3.1 Kohdeyrityksen esittely

ABB on maailmalaajuinen organisaatio. Se on maailmanlaajuisesti johtavassa asemassa voima- ja automaatioteknologioissa. Sillä on johtava markkina-asema omilla pääliiketoiminta-alueillaan. ABB:n pääkonttori sijaitsee Sveitsissä. ABB:n liikevaihto oli 32 miljardia vuonna 2010 ja sillä on palveluksessaan 130 000 työntekijää sadassa eri maassa. [4]

Tällä hetkellä ABB Suomi toimii omana liiketoimintayksikkönään, jolla on omat strategiat ja tuotevastuut. ABB Oy:n organisaatio on järjestetty viiteen eri yksikköön: sähkökäytöt ja kappaletavara-automaatio, pienjännitetuotteet, prosessiautomaatio, sähkövoimajärjestelmät ja sähkövoimatuotteet sekä kolmeen tukitoimintoyksikköön: Product Support, Service ja kotimaan myynti. ABB:llä on kaksi tehdaskeskittymää Suomessa (Helsingissä ja Vaasassa). Vuonna 2010 ABB Suomen liikevaihto oli 2182 M€, ja se työllisti 5935 henkilöä. ABB Suomen tuotteisiin kuuluvat moottorit, erikoismuuntajat, pienjännitekojeet ja -kojeistot, keskijännitetuotteet, sähkön siirto- ja jakelujärjestelmät, voimantuotannon järjestelmät, teollisuuden sähköistykset ja kokonaisprojektoinnit, sähkökoneet, taajuusmuuntajat, prosessiteollisuuden tuotteet ja marinetuotteet. ABB Oy:n missiona on parantaa asiakkaitten kilpailukykyä, olla teknologiajohtaja omalla alallaan, toimia vastuullisesti ja olla arvostettu työnantaja, joka tarjoaa henkilöstölleen kannustavan ja oppivan työyhteisön kehittyvissä liiketoiminnoissa.[4]

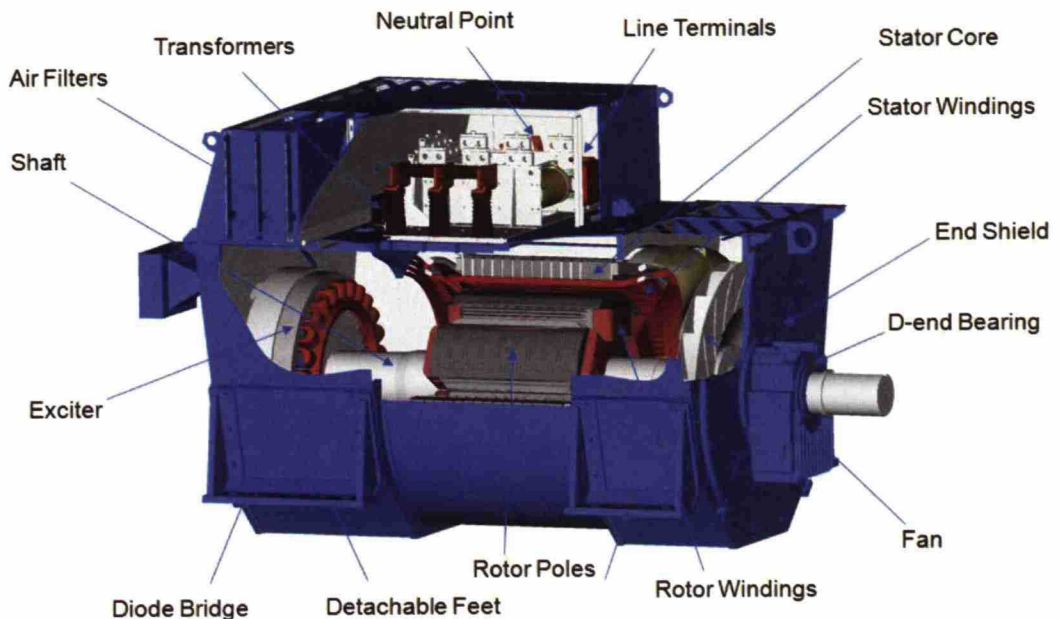
Sähkökoneisiin kuuluvia tuoteyksiköitä ovat tahtikoneet, induktiokoneet, tuulivoimageneraattorit ja global center Finland.

Tämä diplomityö tehdään tahtikoneiden tuotantoyksikköön, jossa valmistetaan moottoreita (AMZ 0710-2500, 4 napaisia tai isompia) ja dieselgeneraattoreita (AMG 0710-2500). Moottoreiden tai generaattoreiden tehot ovat 1-50 MW, jännitteet 1-15 kV(50 tai 60 Hz), runkokoot 710-2500mm ja säätönopeudet 0-1800 rpm. Tahtikonetuotantoyksikön vahvuuksia ovat:[5]

- Maailmanlaajuinen tuotevastuu generaattoreista ja moottoreista
- Laaja sovellustuntemus ja räätälöidyt tuotteet
- Vahva läsnäolo eri markkinoilla<sup>1</sup>.

Vuonna 2009 tahtikoneiden liikevaihto oli 176 M€, työntekijöiden määrä oli 347 ja koneita valmistettiin 414 kappaletta.[5]

Tahtikoneiden moottoreiden ja generaattoreiden osakomponentit on esitetty kuvassa 25. Valtaosa komponenteista tulee maailmanlaajuisesta toimittajaverkostosta. Tiettyt työvaiheet ja komponentit ovat yrityksen ydinsaamista, eikä niitä haluta ulkoistaa. Jokaisessa koneessa on komponentteja, jotka ovat asiakasräätälöityjä.



**Kuva 25. Generaattorin pääkomponentit[5]**

<sup>1</sup>Generaattoreita myydään diesel- ja kaasumoottorivalmistajille, laivaprojekteihin myydään yhdessä marine-yksikön kanssa generaattoreita ja azipod moottoreita, erikokoisia sähkömoottoreita myydään eri teollisuuden aloille, kuten kaivokset, vesilaitokset, yms., ja standardigeneraattoreita vakioasiakkaiden tarpeisiin

## 3.2 Nykytilakuvaus

### 3.2.1 Tahtikoneen toimintaperiaate ja tuotantoprosessi

Tahtikoneiden sähkökoneet moottorit ja generaattorit muuttavat energiaa muodosta toiseen. Moottorit muuttavat sähköenergian liike-energiaksi ja generaattorit muuttavat liike-energian sähköenergiaksi. Sähkökoneiden toiminta perustuu sähkömagnetismiin ja sen perussääntöihin:[24]

- Johtimissa kulkevat vaihtovirrat luovat ympärilleen magneettikentän, jotka vaihtelevat samalla taajuudella virran kanssa
- Pyörivä tasavirralla liikkuva käämi (roottori) luo magneettikentän, joka vaihtelee pyörimistaajuuden mukaan
- Magneettikenttä luo magneettivuon ympäröivään materiaaliin
- Magneettikentässä liikkuvan johtimen päiden välille syntyy jännite
- Paikallaan olevan kelan (staattori) päiden välille syntyy jännite, kun sen läpi virtaa muuttuva magneettivuo
- Magneettikentässä olevaan virralliseen johtimeen kohdistuu mekaaninen voima

Toimintaperiaatteena on, että staattorin ja roottorin magneettinapojen välille luodaan magneettinen kytkentä, jonka avulla saadaan staattori ja roottori pyörimään samalla nopeudella. Nopeuteen vaikuttaa napapariluku, jota voidaan soveltaa kaavan 4 mukaan: [25]

$$Nopeus \left( \frac{\text{kierros}}{\text{min}} \right) = \frac{60 \times f(\text{hz})}{p} \quad (4)$$

, missä f on taajuus ja p on napapariluku. [25]

Naparakenteen perusteella tahtikoneet jaetaan avonapaisiin ja umpinapaisiin, ja magnetointitavan mukaan tahtikoneet jaetaan napakäämi-, kestopagneetti-, ja reluktanssikoneisiin. [24]

Staattori on periaatteeltaan samanlainen avonapaisessa ja umpinapaisessa koneessa. Staattorin rautaosat staattoriselkä ja -hampaat valmistetaan segmenttilevyistä, jotka ladotaan päällekkäin lieriön muotoon. Tämän avulla koneen jäähdytys on tehokasta

ja pyörrevirtahäviöt alenevat. Staattorihampaiden uriin sijoitetaan staattorikäämitykset, jotka koostuvat eristetyistä kuparivyyhdeistä. Vyyhdet voidaan tyhjäkyllästä ennen staattorin kokoonpanoa tai valmiina staattorina. Kyllästyksen avulla saavutetaan huomattavia parannuksia eri tekijöihin mm.: [24]

- eristystekninen lujuus paranee
- lämmönsiirtokyky paranee
- mekaaninen lujuus kasvaa
- kosteuden ja lian sietokyky paranee
- puhdistettavuus paranee
- kokonaisena staattorina kyllästettäessä vyyhden kiinnittyminen uraan varmistuu

Roottori on erilainen umpinapaisessa ja avonapaisessa koneessa. Umpinapakoneessa magnetointikäämitys sijoitetaan sylinterimäisen roottorin pinnalle tehtyihin uriin, ja avonapakoneessa roottori koostuu navoista, joiden ympärille on tehty magnetointikäämitys. Käämin materiaalina on lakkaeristeinen lankakupari tai lattakupari. Roottorin rautaosat valmistetaan joko levyrakenteisena tai massiiviraudasta, koska magnetointi tehdään tasavirralla. Roottorin navat voidaan myös tehdä tähtimäisesti 4- tai 6- napaisissa koneissa, jolloin kaikki navat ovat toisissaan kiinni ja akseli puristusliitettään levyistä kootun roottorin sisälle. Roottorin akselit sorvataan massiiviraudasta ja se kiinnitetään joko suoraan (pienet akselikorkeudet 710, 900 ja 1120 mm) tai välikappaleen avulla (suuret akselikorkeudet 1250, 1600, 2000 ja 2500 mm). [24][25]

Muita tahtikoneiden tärkeitä komponentteja ja rakenteita ovat: [24]

- Runko. Staattori kiinnitetään koneen runkoon
- Laakerit. Laakerit voivat olla sovelluksesta riippuen liuku-, rulla- tai kuulalaakereita. Koneet myös lajitellaan pukkilaakeri- (asennetaan joko koneen runkoon tai alustalle asennetulle pukille, isot koneet 1250, 1600, 2000 ja 2500) ja kilpilaakerikoneisiin (laakerit kiinnitetään koneen päätykilpiin, pienet koneet 710, 900, 1120).



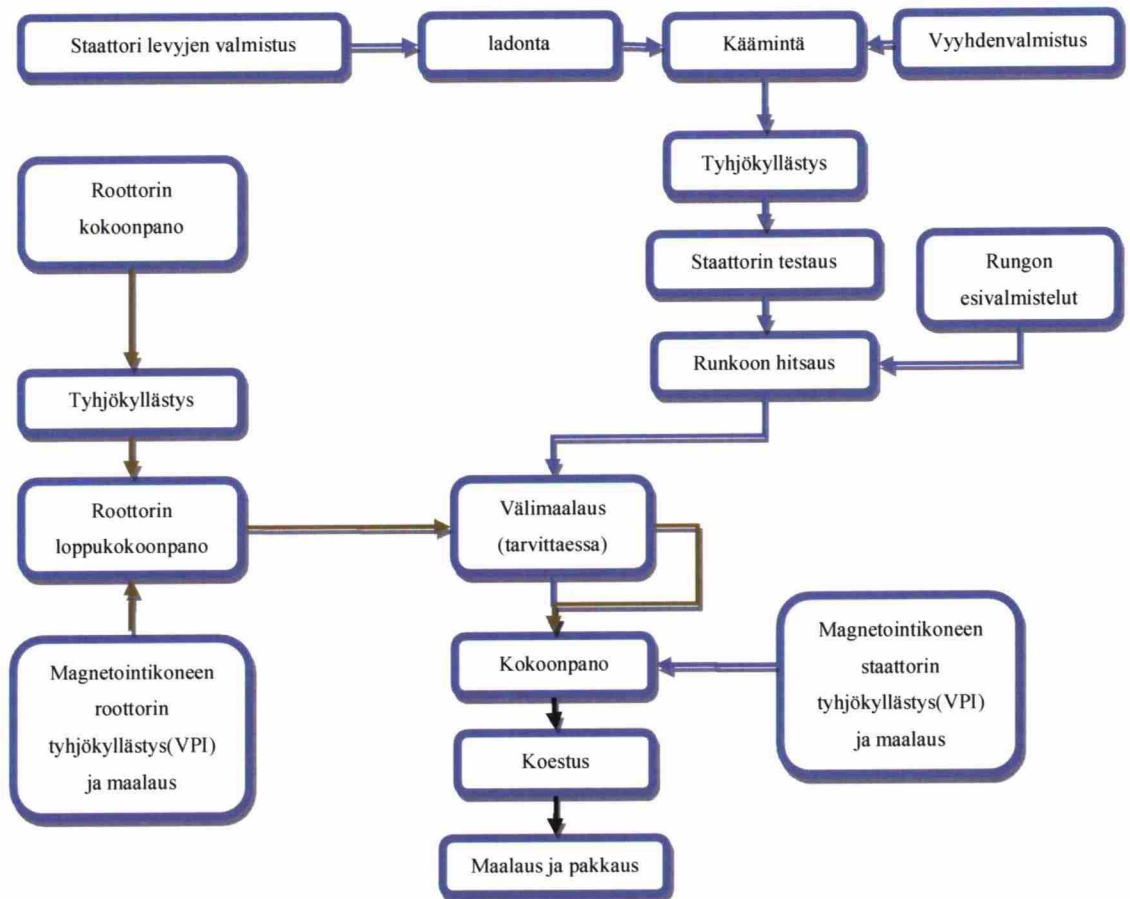
- Alusta. Suurissa moottoreissa käytetään erillistä alustaa, jolloin ne yleensä kootaan, koestetaan ja puretaan erillisellä asennuspaikoilla ns. monttupaikoilla ja kuljetetaan osissa käyttöpaikalle.
- Jäähdytysjärjestelmä. Koneen jäähdytysjärjestelmä voi perustua ensisijaiseen vaihtoehtoon ilmaan avoimissa koneissa tai veteen suljetuissa koneissa, jolloin ilma kulkee lämmönvaihtimen kautta takaisin koneeseen.
- Muita tärkeitä vakio-osia ovat pääkytkentäkotelo, apuliitântäkotelo, lämmitysvastukset ja lämpötilavalvontaelementit.

Tahtigeneraattoreissa koneet varustetaan myös automaattisilla jännitteen säätäjillä (AVR:llä). Tahtikoneissa lisävarusteita voi olla sovelluksesta ja tapauksesta riippuen lukuisia, mutta yleiset lisävarusteet ovat laakereiden lämpötila- ja värinänvalvonta, lämmönvaihtimen vuotoindikaattorit, jäähdytysveden virtauksen säätölaitteet, laakereiden öljyvoitelujärjestelmä, hidaspöörityslaitteistot ja levyjarrut. Näiden lisäksi eri osia ja komponentteja on useita sovelluksesta ja asiakkaasta johtuen.[24]

Tahtikoneiden mitoituksen tekevät sähkösuunnittelijat. Koneen valintaan ja mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat nimellisteho, ylikuormitus, epäsymmetrinen kuormitus, pyörimisnopeus, taajuus, lämpenemä, virta, jännite, jännitteen alenema ja oikosulkuvirta. Sähkölaskennan perusteella mitoitetaan koneen komponentit, esimerkiksi napojen lukumäärä, vyyhtien pituudet ja paksuudet. Sähkösuunnittelija on jo mukana tarjousvaiheessa ja mitoittaa koneet asiakkaiden tarpeiden mukaisiksi. Rakennesuunnittelija suunnittelee sähkösuunnittelijan mitoitukset täyttävät komponentit ja rakenteet koneelle sekä samalla ottaa huomioon asiakkaan rakenteeseen liittyvät erityisvaatimukset ja tarpeet.[24]

Tahtikoneiden tuotantoprosessissa on kaksi tuotantoketjua: roottori ja staattori, jotka yhdistyvät kokoonpanovaiheessa. Molemmat ketjut käyttävät tyhjökylästystä ja välimaalaamaa yhteisinä resursseina. Näiden lisäksi valmistetaan magnetointikoneet tarvittaessa erillisenä valmistusketjuna, ja ne asennetaan koneeseen kahdessa vaiheessa magnetointikoneen roottori roottorin loppukokoonpanovaiheessa ja magnetointikoneen staattori loppukokoonpanossa. Magnetointikoneet tulevat alihankintaverkostosta ja tyhjökylästetään tehtaalla. Kuvassa 26 on esitettyinä

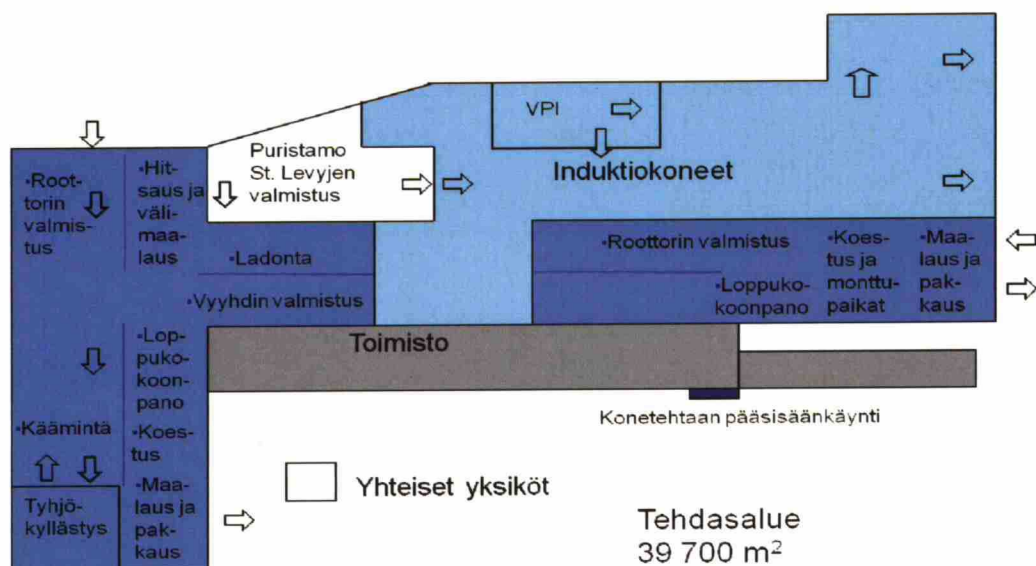
tuotantovaiheet pelkistettynä prosessina. Tiettyjä työvaiheita ei tarvita, jos komponentti tulee alihankkijalta tilattuna tai toisesta tuotantolaitoksesta. Esimerkiksi staattorit voidaan valmistaa Viron tuotantolaitoksessa. Rungot tulevat koneistettuina alihankkijalta, ja niihin pitää yleensä tehdä pieniä parannuksia ja muutoksia. Roottorien navat tulevat yleensä alihankkijoilta tietyin osin tai kokonaan valmiina, ja niihin asennetaan akselit erikseen roottorin kokoonpanossa. Tämän jälkeen roottorit menevät tyhjökylästyksen.



**Kuva 26. Moottoreiden ja generaattoreiden tuotantoprosessi tahtikoneissa.**

Kuvassa 27 on tehtaan layout ja materiaalivirrat. Tehtaassa on kaksi eri roottorin kokoonpano-, kokoonpano-, koestus-, sekä loppumaalaus ja pakkaustyöaluetta. Karkeasti tehdas voidaan jakaa loppukokoonpanon mukaan moottoreihin ja generaattoreihin. Moottoreita kootaan tehtaan oikealla puolella ja generaattoreita tehtaan vasemmalla puolella (kuva 27). Generaattoreita voidaan maksimissaan koota 5 kappaletta samaan aikaan ja moottoreita 3 kappaletta, joista yhtä tasamaalla.

Kuvassa 27 olevat tehtaan materiaalivirrat eivät ole optimaalisia, mutta tuotantoajat ovat mitattavissa päivissä ja koneiden siirrot vaiheesta toiseen ovat riittävän nopeita tuotantoon nähden. Tästä johtuen materiaalivirtojen optimoinnilla ei saada riittävän suuria hyötyjä kustannuksiin nähden.



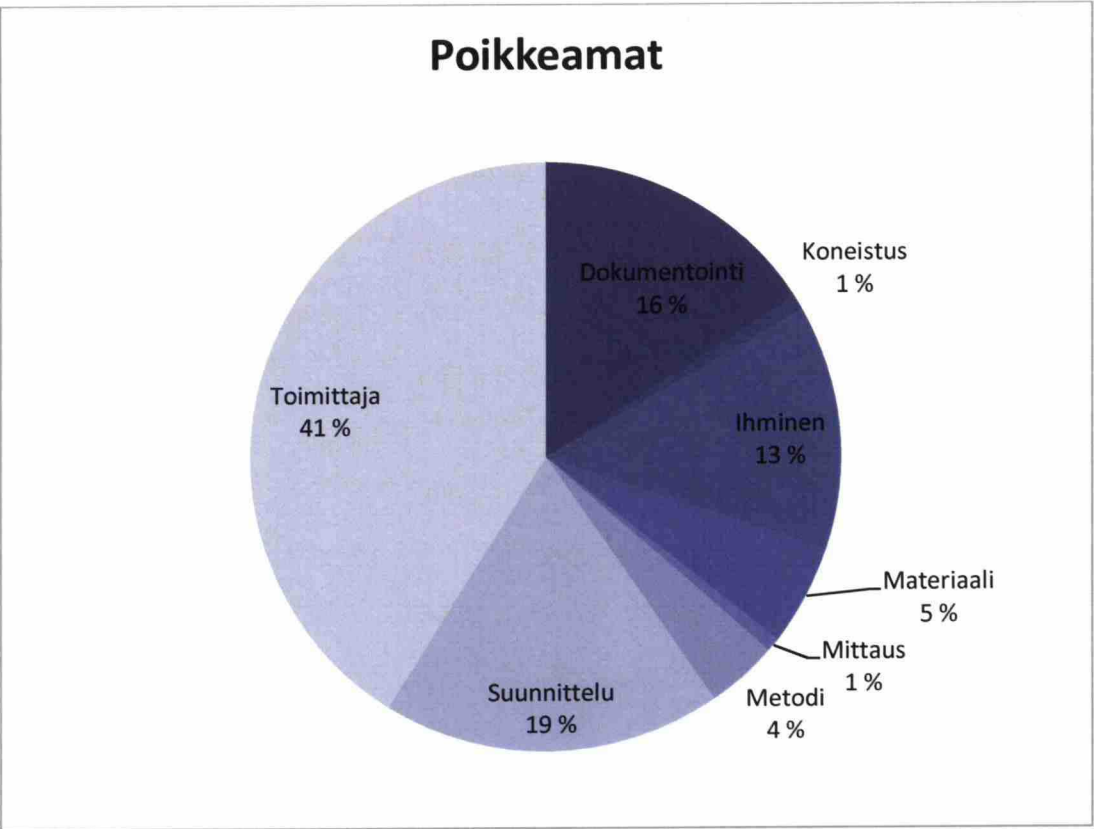
**Kuva 27. Tehtaan layout ja materiaalivirrat.**

Yleensä suuriin tai keskisuuriin moottoreihin tai suuriin generaattoreihin tarvitaan erillisiä kokoonpano- ja koestuspaikkoja. Kokoonpano- ja Koestuspaikkoja on kaksi kappaletta, jotka ovat määriteltä akselikorkeuden ja koneen rakenteen mukaan isoihin koneisiin ja pieniin koneisiin. Kokoonpano- ja koestuspaikassa kasattavassa koneessa on yleensä myös erillislakerointi. Ilman alustaa kokoonpantavat koneet koestetaan pienemmällä koestuspaikalla ja alustan kanssa kokoonpantavat koneet koestetaan suuremmalla koestuspaikalla.

Tuotannossa esiintyviä ongelmia nostetaan esille poikkeamien avulla, jotka käsitellään tapauskohtaisesti. Tuotannossa syntyy poikkeamia suurimmaksi osaksi toimittajien ja alihankkijoiden virheistä. Kuvassa 28 on lajiteltu eri toimenpiteistä tulleet virheet. Kuvaan 28 on kerätty taustatietoa SAP:sta 15 kuukauden aikajaksolta ja lajiteltu poikkeamat eri syy-seuraus-suhteen kautta eri kategorioihin. Yhteensä poikkeamia otannassa on 1368 kappaletta. Tuotannon poikkeamiin reagoidaan



nopeasti ja kriittiset virheet pyritään korjaamaan heti. Toimittajien aiheuttamiin poikkeamiin annetaan heti palautetta reklamoinnin avulla. Toimittajien poikkeamissa pyritään siihen, että virheet vähenisivät tulevaisuudessa. Toimittajien suuri osuus poikkeaminen määrästä johtuu suuresta toimitettavien komponenttien määrästä. Yhteen koneeseen tarvitaan satoja eri komponentteja, jotka tulevat toimittajaverkoston kautta.



**Kuva 28. Poikkeamat tahtikoneessa**

Tuotannossa esiintyvät ongelmat vaikuttavat suoraan koneen läpimenoaikaan. Siksi toistuvia samanlaisia poikkeamia ei saisi esiintyä. Dokumentointi, suunnittelu ja työntekijöiden virheet ovat myös iso osa poikkeamista, jotka voitaisiin estää tulevaisuudessa tuotannollisin toimenpitein tai lisäkoulutuksella. Dokumentointi-poikkeuksien tapauksissa suurimmassa osassa on ollut riittämätön dokumenttien teko, mm. tarkastuspöytäkirjojen puutteellisuudet aiheuttavat suuren määrän dokumentointipoikkeamia. Suunnittelupoikkeuksista suurin osa on syntynyt rakennekuva- ja osaluettelo- ja ostovirheistä. Työntekijöiden poikkeamat johtuvat suurimmaksi osaksi huolimattomuudesta ja työohjeiden noudattamatta jättämisestä.



Tuotannossa on myös käytössä 5S-filosofia, jonka avulla on saatu työpisteistä huomattavasti siistimpiä ja tuotannollisesti tehokkaampia. Joka kuukausi osastoilla tehdään 5S-mittaukset, joiden avulla arvioidaan osastojen siisteyttä ja järjestystä. 5S:n avulla myös työturvallisuus on parantunut aikaisemmasta. 5S on muuttanut työympäristöä huomattavasti parempaan suuntaan. Työpisteiden järjestys ja siisteys on iskostunut työntekijöiden mieliin, ja he pitävät sitä hyvänä asiana sekä työympäristöä parantavana tekijänä.

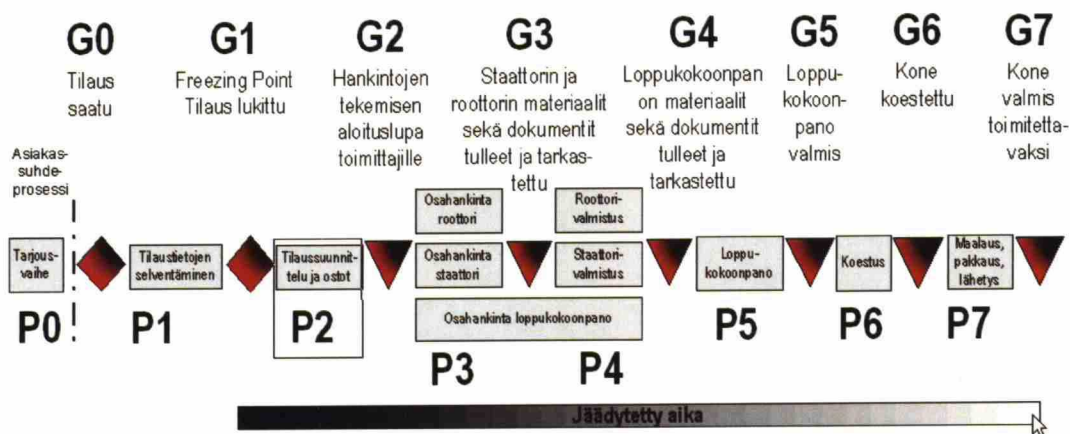
### **3.2.2 Tilaus-toimitusprosessi**

Tahtikoneiden tuotantoympäristönä on MTO-tuotannon ja ETO-tuotannon välimaasto, johon vaikuttaa asiakkaan räätälöinnin tarpeen suuruus ja uudet asiakastarpeet. Uudet asiakastarpeet vaativat huomattavia suunnitteluresursseja, jotta ne voidaan toteuttaa tuotannossa. Muuten koneet suunnitellaan MTO-tuotannon mukaisesti. Tahtikoneet voidaan periaatteessa jakaa moottoreiden ja generaattoreiden mukaan eri tuotantoympäristöihin. Generaattorien tuotantoympäristöä kuvaa paremmin MTO-tuotanto ja moottoreiden tuotantoympäristöä paremmin MTO- ja ETO-tuotannon välimaasto. Generaattorit ovat rakenteeltaan samankaltaisia, ja niiden rakenteisiin tehdään yleensä hyvin pieniä asiakasmuutoksia. Moottorit sen sijaan ovat hyvin asiakasräätälöityjä ja niiden suunnitteluun tarvitaan paljon aikaa ja suunnitteluresursseja, jos samanlaista moottoria ei ole tehty aikaisemmin samoilla lähtötiedoilla samoihin käyttöolosuhteisiin. Moottoreiden rakennesuunnitteluun vaikuttaa hyvin paljon moottorin loppusijoituspaikan toimintaympäristö.

Tahtikoneiden tilaustoimitusprosessi alkaa tahtikoneissa tarjouksen käsittelyllä, johon liittyvät kustannuslaskijan tekemä hinta-arvio koneen valmistuskustannuksista, sähkösuunnittelijan tekemät sähkölaskennat asiakkaan lähtötiedoista ja tuotannonsuunnittelijan osalta koneen valmistuksen ajoittamisesta tuotantoon. Tarvittaessa myös rakennesuunnittelija on mukana tarjousvaiheessa, jos haluttu kone on hyvin erikoinen tai asiakkaan tarpeet ovat hyvin vaativia, jolloin rakennesuunnittelu voi kestää hyvinkin pitkään. Tällöin otetaan huomioon rakennesuunnittelun tarvitsema suunnittelu-aika. Näiden perusteella myyjä antaa asiakkaalle vastatarjouksen hinnan ja toimitusajan kera.

Kun asiakas on hyväksynyt tarjouksen ja sopimus on allekirjoitettu, alkavat toimenpiteet koneen valmistamiseksi. Aluksi pidetään aloituspalaveri, jossa myyjä luovuttaa myydyin koneensa projektipäällikön vastuulle. Projektipäällikön tehtävänä on pitää yhteyttä asiakkaaseen ja huolehdittava koneen valmistumisesta sekä ratkaistava mahdolliset ongelmat, joita esiintyy projektin aikana. Projektipäällikkö on vastuussa asiakassuhteista ja projektin onnistuneesta läpiviennistä. Aloituspalaverissa on myös mukana tuotannonsuunnittelija, rakennesuunnittelija, sähkösuunnittelija ja ostaja. Tuotannonsuunnittelijan tehtävä on aloituspalaverissa kertoa tuotannon ajoituspäivämäärät. Rakennesuunnittelijalle kerrotaan aloituspalaverissa asiakkaan tarvitsemat erikoisvaatimukset koneen rakenteesta sekä rakennesuunnittelun viimeinen valmistumisajankohta. Sähkösuunnittelijalle kerrotaan lopullisten sähkölaskentojen valmistumisajankohta. Ostajan tehtävä aloituspalaverissa on kriittisten osien määrittely hankinnan kannalta ja niiden oikea-aikainen hankinta. Kriittiset osien kohdalla rakennesuunnittelija suunnittelee kriittiset osat ensin. Muuten ostajalle annetaan ajankohta, jolloin hankintojen pitää olla tehtynä.

Aloituspalaverissa määritetään projektille projektiaikataulu ja projektille virstanpylväitä, joiden avulla projekti pidetään hallussa. Tämä ns. porttimalli on yrityksessä yleisesti käytössä. Porttimalli tarkoittaa kuvassa 29 olevan kuvauksen mallista prosessia, jossa jokaisen portin eli virstanpylvään jälkeen aloitetaan toinen. G0-portissa tilaus on vahvistettu ja tilaustietoja tarkennetaan ja selvennetään asiakkaan kanssa. Tässä vaiheessa asiakas saa vielä tehdä muutoksia vaatimuksiinsa. G1-portissa asiakastilaus on jäädytetty ja tilaustietoja ei voi enää muuttaa. G1-portti luo impulssiin rakenne- ja sähkösuunnittelulle, jotka alkavat suunnittelemaan konetta asiakkaan lähtötietojen mukaisiksi. Ennen G2-porttia osto on ostanut koneen hankittavat osat toimittajilta. G2-portin jälkeen toimittajille annetaan aloituslupa hankintojen tekemiseen. Loput portit ovat valmistuksen seurantapisteitä.



**Kuva 29. Nykyinen porttimalli.**

Porttimallin avulla saataviin myyntitilauksiin sovelletaan MTO- ja ETO-tuotantoympäristöjä. Porttimallin tarkoituksena on saada mitattavia virstanpylväitä, joiden avulla voidaan tarkastella projektin sujuvuutta ja vertailumahdollisuuksia aikaisempiin samankaltaisiin projekteihin verrattuna. Tämä auttaa suunniteltaessa uusiin projekteihin projektiaikatauluja.

Tilaus-toimitusprosessissa kuormitetaan tällä hetkellä loppukokoonpanoa, jota pidetään pullonkaulana tuotantoketjussa. Loppukokoonpano ei ole kaikissa tuotevariaatiotapauksissa pullonkaula. Pullonkaulana voivat olla myös lattakuparinapojen valmistus, koestuspaikka tai vyyhdenvalmistus. Erityisesti kokoonpano- ja koestuspaikalla kasattavien koneiden valmistuspaikoista on pulaa aika ajoin, jos samantyyppisiä koneita tulee useita samaan ajankohtaan. Vyyhdenvalmistuksesta voi tulla pullonkaula, jos tietyn tyyppisellä vyyhtikoneella ei ole kapasiteettia jäljellä. Lattakuparinapojen valmistus on ulkoistettu ja toimittajalla on yksi kone lattakuparinapojen valmistukseen. Näitä pullonkauloja pyritään huomioimaan tuotantoa suunniteltaessa kuormittamalla tuotantoa kuormantasaussääntöjen avulla. Nykyisissä kuormantasaussäännöissä ei ole huomioitu vyyhdenvalmistuksen pullonkauloja eikä toimittajan lattakuparinapojen kapasiteettiongelmia.

Tilaus-toimitusprosessin kestot ovat hyvin vaihtelevia eri tuotevariaatioiden kesken. Taulukossa 2 ovat yleiset toimitusprosessien kestot, joista suurin kesto on jopa 13



kuukautta. Suunnittelu on kokonaiskestoltaan aikaa vievin osuus suurimmalla osalla tuoteperheistä. Taulukkoon 2 on otettu tietoa SAP-järjestelmästä 14 kuukauden ajanjaksolta ja laskettu kestojen keskiarvo, mediaani, maksimi ja minimi. Taulukosta huomataan se, että tulokset ovat hyvin vaihtelevia eikä keskiarvoa voida käyttää tilaus-toimitusprosessin kestoja tarkastellessa. Paremman kuvan antaa mediaanin käyttäminen tuloksia tarkastellessa. Myös joissakin konetyypeissä otanta on liian pieni tarkkojen tulosten saamiseksi.

**Taulukko 2. Tilaus-toimitusprosessin tuotannon osuuden kestot viikoissa eri tuoteperheillä akselikorkeuksin.**

| Tuoteperhe | Akselikorkeudet | Otanta | Minimi | Mediaani | Maksimi | Keskiarvo |
|------------|-----------------|--------|--------|----------|---------|-----------|
| 12         | 1120            | 6      |        |          |         |           |
| 12         | 1600            | 2      |        |          |         |           |
| 13         | 1600            | 3      |        |          |         |           |
| 13         | 900             | 2      |        |          |         |           |
| 13         | 900             | 37     |        |          |         |           |
| 14         | 900             | 5      |        |          |         |           |
| 14         | 2500            | 1      |        |          |         |           |
| 14         | 1600            | 10     |        |          |         |           |
| 15         | 1120            | 80     |        |          |         |           |
| 15         | 1600            | 52     |        |          |         |           |
| 16         | 1120            | 12     |        |          |         |           |
| 16         | 1600            | 7      |        |          |         |           |
| 9          | 800             | 2      |        |          |         |           |
| 19         | 1250            | 2      |        |          |         |           |

### 3.2.3 Tuotannonohjaus ja -suunnittelu

Tuotantoa ohjataan ohjauspisteiden kautta, jotka näkyvät porttimallissa (kuva 29) P-pisteinä. Staattorinvalmistuksessa ohjauspiste on käämintä, roottorinvalmistuksen ohjauspisteenä on roottorin alkukokoonpano ja loppukokoonpano on kuormituspiste, jota kuormitetaan mahdollisimman suurella käyttöasteella ja sitä pidetään yleisesti tuotannon kokonaiskapasiteettia rajoittavana tekijänä. Loppukokoonpanoa kuormitetaan uusia varauksia ja tilauksia otettaessa kuormantasaussääntöjen avulla siten, että mahdollisimman monta konetta olisi mahdollista valmistaa samaan aikaan





| Week    | Requirements | AvailCap. | CapLoad | RemAvailCap | Unit |
|---------|--------------|-----------|---------|-------------|------|
| 12.2012 | 6.465,65     | 504,00    | 999 %   | 5.961,65    | H    |
| 13.2012 | 1.730,75     | 1.260,00  | 137 %   | 470,75      | H    |
| 14.2012 | 932,42       | 1.008,00  | 93 %    | 75,58       | H    |
| 15.2012 | 1.576,58     | 1.288,00  | 122 %   | 288,58      | H    |
| 16.2012 | 2.158,80     | 1.610,00  | 134 %   | 548,80      | H    |
| 17.2012 | 2.224,67     | 1.610,00  | 138 %   | 614,67      | H    |
| 18.2012 | 1.644,36     | 1.288,00  | 128 %   | 356,36      | H    |
| 19.2012 | 2.200,43     | 1.610,00  | 137 %   | 590,43      | H    |
| 20.2012 | 1.836,27     | 1.288,00  | 143 %   | 548,27      | H    |
| 21.2012 | 1.769,06     | 1.610,00  | 110 %   | 159,06      | H    |
| 22.2012 | 1.324,69     | 1.610,00  | 82 %    | 285,31      | H    |
| 23.2012 | 1.394,89     | 1.610,00  | 87 %    | 215,11      | H    |
| 24.2012 | 1.400,00     | 1.610,00  | 87 %    | 210,00      | H    |
| 25.2012 | 1.295,60     | 872,00    | 149 %   | 623,60      | H    |
| 26.2012 | 979,03       | 840,00    | 117 %   | 139,03      | H    |
| 27.2012 | 1.196,76     | 840,00    | 143 %   | 356,76      | H    |
| 28.2012 | 1.018,06     | 840,00    | 121 %   | 178,06      | H    |
| 29.2012 | 991,66       | 840,00    | 119 %   | 151,66      | H    |
| 30.2012 | 696,80       | 840,00    | 83 %    | 143,20      | H    |
| 31.2012 | 1.160,92     | 840,00    | 138 %   | 320,92      | H    |
| 32.2012 | 1.129,61     | 840,00    | 134 %   | 283,61      | H    |
| 33.2012 | 1.190,60     | 1.610,00  | 74 %    | 419,40      | H    |
| 34.2012 | 1.490,61     | 1.610,00  | 93 %    | 119,39      | H    |
| 35.2012 | 1.546,14     | 1.610,00  | 96 %    | 63,86       | H    |
| 36.2012 | 1.921,86     | 1.610,00  | 119 %   | 211,86      | H    |
| 37.2012 | 1.991,88     | 1.610,00  | 124 %   | 381,88      | H    |
| 38.2012 | 2.162,13     | 1.610,00  | 134 %   | 552,13      | H    |
| 39.2012 | 2.155,82     | 1.610,00  | 134 %   | 545,82      | H    |

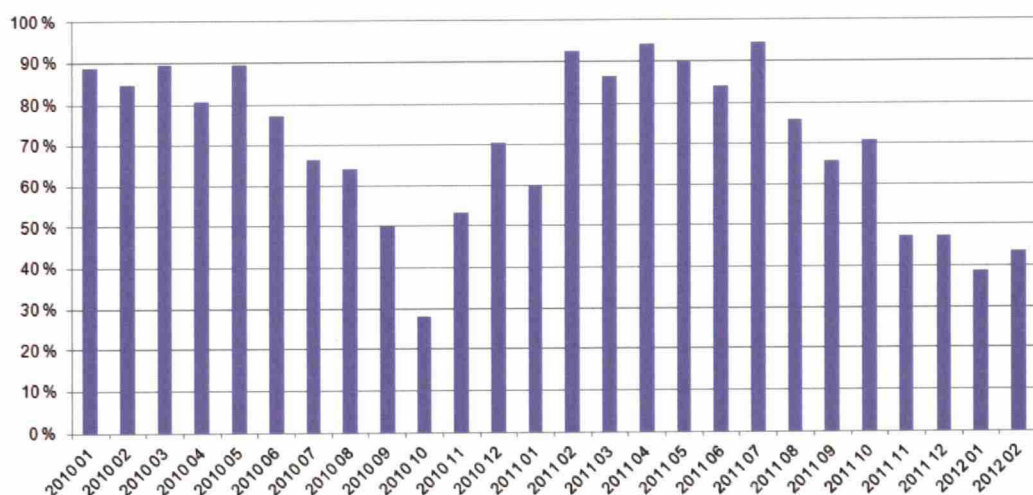
**Kuva 31. Transaktio CM01. Loppukokoonpanon kuormitustilanne.**

Tuotannonohjaus noudattaa kapeikko-ohjausperiaatteita loppukokoonpanossa ja pyrkii TOC-ajattelun mukaiseen lopputilaan. Tätä mallia tuetaan mittapistemallilla tai ts. porttimallilla. Kapeikko-ohjauksessa tapahtuu häiriöitä, kun roottori-valmistusketju toimittaa työntöohjaus periaatteella valmiita roottoreita liian paljon verrattuna staattori-valmistusketjuun. Häiriöitä voi esiintyä esimerkiksi, kun vyyhdenvalmistus on ylikuormitustilanteessa tai runkoonhitsauksessa on runkojen laatuongelmia. Tästä syntyy huomattavaa KET:iä ja lattiatilaa vievää ylituotantoa roottoripuolella. Ratkaisuna olisi staattorivalmistusketjun kapasiteetin nostaminen tai roottorivalmistusketjun tuotannon tasapainottaminen staattorivalmistusketjun mukaiseksi. Tässä tulevat esille hyvin työntöohjaukseen liittyvät ongelmat, joita teoriassakin on esitelty.

Tahtikoneissa tuotannonsuunnittelijan tehtävänä on pitää tuotanto tasaisena niin, että tuotantoon ei tule suuria yli- tai alikuormitustilanteita. Tuotannonsuunnittelijan vastuulla on tuotannon karkeakuormitus. Hienokuormituksen tekevät työnjohtajat omilla osastoillaan yhdessä valmistuspäällikköiden kanssa. Työnjohtajat käyvät

valmistuspäälliköiden kanssa viikoittain palavereita, joiden teemana ovat tuotannon hienokuormitus ja tuotannon nykytilanne sekä tuotannossa esiintyvät ongelmat.

Tahtikoneiden toimitusvarmuus on ollut hyvin vaihtelevaa johtuen erilaisista tuotannollisista syistä, joita havainnollistavat poikkeamat. Kuvassa 32 on toimitusvarmuus kuukausitasolla. Kuten kuvasta nähdään, toimitusvarmuus on aika ajoin heikolla tasolla. Myöhästymiset vaikuttavat suoraan tahtikoneiden tulokseen sitä heikentävästi. Myöhästymissakot ja asiakkaiden lisääntyvä tyytymättömyys tahtikoneita (ABB:tä) kohtaan aiheuttavat suuria ongelmia tulevaisuudessa. Tätä ongelmaa pyritään parantamaan lyhentämällä koneiden tuotannon läpimenoaikoja huomattavasti nykyisestä. Joulukuussa 2011 onkin aloitettu projekti 28-35-42, jonka avulla pyritään lyhentämään koneiden tuotannon läpimenoaikoja.



**Kuva 32. Toimitusvarmuus tahtikoneessa.**

Toimitusvarmuusongelmia esiintyy yleensä silloin, kun tilauskanta on melkein täynnä ja kapasiteetin käyttöaste korkea tai tehtaassa on muita suuria tuotanto-ongelmia kuten esimerkiksi tyhjökylästyksessä oleva huoltoseisokki.

Myöhästymisien syy voi olla myös toimittajissa, joilla on toimitusvaikeuksia kriittisille komponenteille. Toimittajien toimitusvaikeudet voivat johtua liian suuresta tilauskannasta, raaka-aineiden saatavuusongelmista tai omista tai alihankkijoiden tuotanto-ongelmista.



### 3.2.4 Toimittajaverkoston nykytila

Tahtikoneissa hankinta jakaantuu yhtäältä omaan hankintaosastoon ja toisaalta sähkökoneiden yhteiseen hankintaosastoon, joka tekee strategisempia hankintoja kuten esimerkiksi kupareiden ostot. Tahtikoneiden oma hankintaosasto tekee operatiiviset hankinnat, jotka liittyvät eri myyntitilausprojekteihin.

Hankintaosastossa toimivien hankintavastaavien tehtävänä on pitää huolta siitä, että kaikki tarvittavat ostokomponentit on toimitettu oikeaan aikaan oikeaan paikkaan tuotantoa. Tällä hetkellä tahtikoneiden hankintaosastolla toimii 10 hankkijaa.

Hankintaosaston apuna on laatuosasto ja tuotekehitysosasto, jotka ovat mukana uusien toimittajien hyväksymisprosessissa, kartoituksissa ja tarkastuksissa sekä toimittajien ongelmatilanteissa. Laatuosaston tekemät toimittaja-auditoinnit ovat yksi tapa varmistaa vaadittava laatutaso tilattavissa tuotteissa sekä se, miten toimittajat ovat korjanneet ne poikkeamat, joita on tullut esille tuotannossa.

Toimittajilta tilataan tuotteita joko varastoon (varastonimikkeet) tai suoraan myyntitilaukselle (työnumeronimikkeet). Varastonimikkeitä tahtikoneissa on kymmeniä kappaleita ja työnumeronimikkeitä on satoja kappaleita. Tilauksien seurantoja ja niiden toimitusaikaseurantoja tehdään SAP:n ja Excel-tiedoston avulla. Näihin päivitetään tilausvahvistus ja toimitusaikataulutietoja tuotteista joko suoraan SAP:n kautta tai sähköpostilla ja manuaalisesti kirjattuna. Excel-tiedostossa on kirjattuna tuotteiden myöhästymät ja uudet toimitusajankohdat.

Tahtikoneissa on keskimäärin 70 000 ostettavaa osaa vuodessa (1.6.2010-1.6.2011). Näiden lisäksi asiakas on voinut tilata varaosia, joista myös pitää tehdä hankinta-aloitteet, tai tuotannossa on tapahtunut valmistusvirhe, jolloin on hankittava uudet osat koneeseen. Kuten ostettavista osien määristä nähdään, hankintaosaston toiminnan onnistumisella on hyvin suuri vaikutus koneiden läpimenoaikoihin tuotannossa ja koneiden toimitusaikoihin. Tästä syystä hankintaosaston on oltava hyvin ajan tasalla tilattujen tuotteiden riittävyyksistä ja laaduista.



Ostajalla on vastuu siitä, että tarvittavat osat ovat tehtaalla silloin, kun niitä tarvitaan. Tahtikoneissa ostajat eivät ole valikoituina tietyille toimittajille vaan kaikki ostajat tekevät hankintoja kaikilta alihankkijoilta kerralla tapauskohtaisesti omille projekteilleen. Hankintaosastolla toimii myös varasto-osien hankkija, jonka tehtävänä on pitää huolta, että varastossa on tarpeeksi varasto-ohjautuvia komponentteja.

### 3.2.5 Toiminnanohjausjärjestelmä

SAP-toiminnanohjausjärjestelmä on ollut tahtikoneissa käytössä kevästä 2010 lähtien. Toiminnanohjausjärjestelmällä hallitaan tahtikoneiden koko tilaustoimitusprosessia. Toiminnanohjausjärjestelmässä on mukana kaikki tarvittavat osat tahtikoneista. Toiminnanohjausjärjestelmä pitää sisällään tuotannon, henkilöstönhallinnan, asiakastietojen ylläpidon, laskutuksen, toimittajien ja alihankkijoiden tiedot, rakennekuvat ja koneiden osaluettelot, yms. SAP-toiminnanohjausjärjestelmän rinnalla käytetään vanhasta toiminnanohjausjärjestelmästä (*Driving Glove*, DG) osia. Osia ovat rakennesuunnittelun ja sähkölaskennan tietyt ohjelmistot ja työkalut. Vanhan järjestelmän ja muiden ohjelmistojen tietoja syötetään SAP-toiminnanohjausjärjestelmään PDM-järjestelmän avulla, jolloin saadaan SAP:iin kytkettyä esimerkiksi koneen rakennekuvat ja hankinta-aloitteet. Tahtikoneissa käytetään Team Center (TC) PDM -järjestelmää.

SAP-toiminnanohjausjärjestelmässä työyksiköt (work centers) on mallinnettu työntekijöiden ja toimintatyypin mukaan. Työntekijät määräävät työyksikön kapasiteetin. Työyksikössä ei ole huomioitu eri koneiden kapasiteetteja tai muita rajoitteita kuten esimerkiksi ylikuormitustilanteita osastoilla. Tällä hetkellä SAP:n mukaan esiintyviin ylikuormitustilanteisiin ei puututa eikä tarvittavia toimenpiteitä tehdä niiden välttämiseksi. Myös loppukokoonpano on mallinnettu yhtenä työyksikkönä, eikä eri kokoonpanopaikkoja ole mallinnettu tai huomioitu SAP:ssa.

SAP-toiminnanohjausjärjestelmässä myyjien tekemä myyntiennuste syötetään SAP:iin kerran kuukaudessa. Myyntiennusteessa on karkeasti arvioitu tulevia tilauksia ja niiden toimitusajankohtia. SAP:ssa myyntiennusteet näkyvät

tilauskantana SAP:ssa, joka tulee muun tilauskannan päälle. Kun myyntitilauksia kirjataan SAP:iin, ei samaa myyntiennustusta oteta pois SAP:sta joko manuaalisesti tai automaattisilla toiminnoilla, vaikka tämä olisi mahdollista SAP:ssa kulutusstrategioita käyttämällä. Tämä aiheuttaa eräitä ongelmia, joita esitellään kappaleessa 3.3. Nykyinen SAP-toiminnanohjausjärjestelmä on suunniteltu varauksien käsittelyyn ja varauksien kulutuksiin SAP:ssa. Se toimisi hyvin, jos varauksien käsittely olisi toiminnassa.

SAP:ssa tuoteperheistys on tehty seitsemään eri kategoriaan eri markkinasegmenttien mukaan. Tuoteperheen sisällä koneet ovat jaettu eri kokoluokkiin akselikorkeuksien mukaan. SAP:ssa on tällä hetkellä käytössä eri ylimmän tason materiaaleja yhteensä 23 kappaletta. Tuoteperheiden sisällä erityyppisten koneiden erot tuotannossa ovat kuvatut tarvehierarkioiden avulla. Tarvehierarkiat ovat kuvan 33 mukaisia hierarkioita, joiden ylin taso määrittelee konetyypin (AMG on generaattori), tuoteperheen (115) ja kokoluokan (L). Jokaisella materiaalinimikkeellä on tietty tarveaika, joka on määritelty jokaiselle tarvehierarkialle erikseen. Tosin useilla eri tarvehierarkioilla on samat tarveajat ja tällöin ne eivät anna lisäarvoa tuotannonsuunnittelulle. Liitteessä 1 on taulukko, josta nähdään nykyiset tarvehierarkiat ja niiden tarveajat eri työyksiköissä.

|                    |   |
|--------------------|---|
| ▼ ■ 3AFPAMG115L    | Stationary Piston Eng. Generator, large |
| ▼ ■ 3AFPAMGLLZP100 | Gen. land, large Machine, complete(mod) |
| ▼ ■ 3AFPAMGLLRA001 | Gen. land, large Rotor complete (mod)   |
| • ■ 3AFPAMGLLSR001 | Gen. land, large Exciter rotor (mod)    |
| ▼ ■ 3AFPAMGLLCA001 | Gen. land, large welded stator (mod)    |
| ▼ ■ 3AFPAMGLLCU001 | Gen. land, large Stator, wound (mod)    |
| ▼ ■ 3AFPAMGLLCL001 | Gen. land, large Stator core (mod)      |
| • ■ 3AFPAMGLLCL010 | Gen. land, large Stator plates (mod)    |
| • ■ 3AFPAMGLLCU002 | Gen. land, large Stator coils (mod)     |
| • ■ 3AFPAMGLLSC001 | Gen. land, large Exciter stator (mod)   |

Kuva 33. Tarvehierarkia

### 3.3 Nykytilan analysointi

Tutkittava yritys kävi keväällä 2010 läpi suuren muutoksen vaihtaessaan omiin tarpeisiin räätälöidyn DG ERP -järjestelmän SAP ERP -järjestelmään. ERP-

järjestelmän nopeatahtisen vaihdoksen johdosta uutta ERP-järjestelmää ei ehditty optimoida yrityksen tarpeisiin riittävällä tasolla. Tästä johtuen vanhan ERP-järjestelmän osia on edelleen käytössä mm. sähkölaskennan ja rakennesuunnittelun osalta. Kaikkia uuden ERP-järjestelmän ominaisuuksia ei ole otettu käyttöön, koska uuden ERP-järjestelmän tietotaito on vain muutamien työntekijöiden hallussa ja nämä työntekijät ovat varattuina omissa työtehtävissään. Kehittäjien niukkuuden johdosta uuden ERP-järjestelmän kehitystyö ja räätälöinti tahtikoneyksikön tarpeisiin on ollut hidasta. Kehitystyöprojektit ovat pitkittyneet ja projektien eteneminen on vaivalloista, koska ajanpuutteen vuoksi palavereita ehditään pitämään niukasti ja projektin tekovaiheita siirretään jatkuvasti eteenpäin.

Uuden ERP-järjestelmän johdosta tuotannon ohjattavuus on kärsinyt. Vanhoja työkaluja ja tekniikoita ei ole suunniteltu uutta ERP-järjestelmää varten. Tämän vuoksi hankinta, kapasiteetti, kuormitussäännöt ja ennustettavuus ovat huonontuneet. Tämä voidaan nähdä mm. myöhästymisten kasvuna, niin omien tuotteiden kuin myös toimittajien, ja tuotannonpoikkeamien kirjausten kasvuna. Myös SAP PP -ohjeistus on hyvin niukkaa eikä kunnollisia ohjeita ole tarjolla kaikista niistä toimenpiteistä ja tehtävistä, joita tehdään päivittäin tuotannonsuunnittelussa. Tuotannonsuunnittelusta puuttuvat käytännön ohjeet, joiden avulla uudet työntekijät pääsisivät nopeammin käsiksi työtehtäviinsä.

Ennusteiden kirjaus ja luettavuus ovat SAP:ssa puutteellisia, koska nykyinen ennusteprosessi on hyvin monimutkainen ja ennustetieto syntyy monen eri henkilön toimesta. Nyt ennustetiedot päivitetään ERP-järjestelmään kerran kuukaudessa. Tämä aiheuttaa tuotannon kuormituksen kannalta useita ongelmia. Suurin ongelma syntyy, kun myyjät kyselevät tarjouksilleen kapasiteettivaroja tuotannosta. Myyjien tarjoukset menevät tehtyjen ennusteiden päälle, jos tarjousta ei ole huomioitu ennusteessa. Tässä tapauksessa kapasiteetti voi ylittyä, jos sekä tarjouksesta että ennusteesta tulee vahvistettu tilaus. Tämä ongelma näkyy hyvin, kun kapasiteetin käyttöaste on korkealla tasolla. Myyjien tarjouksissa on käytetty toimintaperiaatetta ”nopeat syövät hitaat”: vahvistetut tilaukset menevät tarjouksien edelle ja syövät niiden kapasiteettivaraukset. Tämä vaikeuttaa ennusteiden luettavuutta ja ennustetarkkuutta entisestään. SAP:n ennustussääntöjä ja



kulutuskäytäntöjä ei yksinkertaisesti ole olemassa. Näiden sääntöjen muokkaaminen ilman SAP-konsulttien mukanaoloa on mahdotonta, koska kenelläkään tahtikoneessa ei ole riittäviä muutosoikeuksia SAP:iin. Tämä ongelma pyritään poistamaan kehittämällä ERP-järjestelmää uusien käyttöratkaisujen avulla.

Alihankkijoilta ja toimittajilta tulevien osien ja komponenttien toimitustäsmällisyydessä ja eri toimittajien luotettavuudessa on suuria eroja, jotka vaikuttavat pahimmassa tapauksessa suoraan koneen läpimenoaikaan. Joitakin komponentteja toimittaa vain yksi toimittaja, joka on tuotannon virtaavuuden ja kustannusten kannalta merkittävä riskitekijä, jos LEAN:ia ei ole implementoitu (ks. teoria). Kun on vain yksi toimittaja, joudutaan tilanteisiin, joissa ei ole mahdollisuuksia vaikuttaa kustannuksiin ja toimitusvarmuuteen niin hyvin kuin usean toimittajan tapauksissa. Toimittajan toimitusongelmilla on suora vaikutus omien tuotteiden myöhästymisiin. Toimittajien toimitusvarmuusongelmat otetaan huomioon kriittisten ostokehotusten tekemisinä. Kriittisistä ostoista tehdään hankinta-aloitteet jo suunnitteluvaiheen alkupuolella, ja myöhemmin kriittisiin ostokomponentteihin on hyvin vaikea tehdä muutoksia tarvittaessa. Kriittisten hankinta-aloitteiden tekeminen on seurausta myös hyvin pitkistä toimitusajoista. Joidenkin komponenttien toimitusaika voi olla jopa puoli vuotta (mm. tietyt erikoislaakerit kuuluvat tähän kategoriaan). Nyt melkein kaikki komponentit tilataan suoraan tietylle koneelle eikä komponenttien vaihtoja koneiden kesken tehdä, vaikka komponentti olisi identtinen molemmissa koneissa. Tämä voi johtaa koneen tarpeettomaan myöhästymiseen, koska komponenttitoimittaja ei ole toimittanut tiettyä osaa tarpeeksi ajoissa tälle aikaisemmalle vaan tuolle toiselle koneelle, joka tuotantosuunnitelmassa valmistuu myöhemmin. Myös ERP-järjestelmästä tai sen osaamattomasta käytöstä johtuen tulee esille ongelmia hankinnassa. ERP-järjestelmän generoimia hankinta-aloitteita ei aina tilata oikeasti eikä ns. ERP-järjestelmän BOM:n kaikkia komponentteja joko ole BOM:ssa tai komponentteja on liikaa. Tämä on seurausta yleensä joko rakennesuunnittelijan virheestä tai siitä, että ostaja haluaa ostaa komponentit suurempina kokonaisuuksina samalta toimittajalta.

Tiettyjä toimittajia voi olla vain yksi tietylle koneen komponentille johtuen mm. tietyn osavaiheen tai osan ulkoistamisesta. Yksi tällainen osa on lattakuparinapojen



valmistus. Lattakuparin valmistuksen hoitaa yksi toimittaja, jolla on lattakuparien valmistukseen hankittuna yksi kone, joka voi tehdä tietyn määrän napoja päivässä. Lattakuparinapojen valmistuksesta tulee tuotantoa rajoittava tekijä, kun lattakuparinapoja käyttäviä koneita on suunniteltu tehtäväksi tiettyyn ajankohtaan liian monta kappaletta. Ainakaan vielä lattakuparitoimittajan mahdollisia toimitusvaikeuksia ei ole mitenkään huomioitu tuotannonsuunnittelussa. Tuotannonsuunnittelijalla ei ole ollut tarpeeksi tietoa tai työkaluja lattakuparinapojen ottamiseksi huomioon koneiden ajoittamisvaiheessa. Lattakuparinapojen hankinnoista voitaisiin tehdä tietyissä erikoistapauksissa kriittisiä hankinta-aloitteita, jos tiedetään etukäteen lattakuparinapojen tarpeet jo ennen aloituspalaveria. Esimerkiksi suurikokoinen moottori, joka on suunniteltu lattakupariroottorilla, voi viedä toimittajan kapasiteetistä jopa 4 viikkoa kerrallaan. Tämä tietenkin vaikuttaa muiden koneiden toimitusaikoihin, jos useita lattakuparikoneita on samaan aikaan tuotantoaikataulussa, ja pahimmassa tapauksessa johtaa muiden lattakuparinapakoneiden myöhästymisiin ja myöhästymissakkoihin.

### **3.3.1 Toimenpiteet ongelmien ratkaisuun**

Tällä hetkellä tahtikoneiden toiminnanohjausjärjestelmässä on erilaisia parantamismahdollisuuksia. SAP ERP -järjestelmää pitää ensinnäkin muokata tuotannonsuunnittelun kannalta tarkemmaksi, jotta saataisiin parempi kokonaiskuva tuotannosta ja eri työyksiköiden kuormitustilanteista. Keinoja muokkaamiseen on useita erilaisia, mutta rajoitteena ovat niukat käyttöoikeudet SAP-järjestelmään. Ainoat henkilöt, jotka voivat oikeasti muokata parametreja ja tehdä suuria parannustöitä toiminnanohjausjärjestelmään, ovat SAP-konsultit. Näiden kanssa työskentely on aikaa vievää ja hankalahkoa, koska työskentelystä on tehty hyvin byrokraattista. SAP-konsulteille pitää ensin lähettää pyyntö siitä, mitä SAP:ssa halutaan muuttaa, muokata tai lisätä. Sitten he vastaavat pyyntöön ilmoittamalla, onko mahdollista toteuttaa vai ei. Tämän jälkeen konsultit alkavat työstää pyyntöä ja kertovat suunnitellun kestoarvion pyynnölle. Kun pyyntö on valmis, testataan sitä SAP:n testipuolella. Testauksessa tarkastellaan ja arvioidaan pyynnön onnistumista suhteessa haluttuun lopputulokseen. Jos on tarvetta muokata lisää, ilmoitetaan konsulteille vaadittavista lisäparannustarpeista.

Seuraavaksi käydään läpi kehittämistoimenpiteitä mahdollisina ratkaisuinä ongelmiin.

### ***Tarvehierarkian uusiminen***

SAP:ssa tuotantoprosessia pyritään kehittämään perustuvaksi enemmän tuoteperheajatteluun, jossa otetaan valmistuksen kannalta huomioon eri tuoteperheet. SAP:ssa tuoteperheajattelu on rakennettu asiakkaiden näkökulman mukaan. Asiakkaiden mukainen tuoteperheajattelu näkyy SAP:ssa hyvin, mutta useiden samanlaisten tuotteiden ero on vain ylimmän tason materiaalinimikkeessä.

Eri tuoteperheillä on nyt SAP:ssa samat läpimenoajat, jos valmistetaan tuotannollisesti samanlaista konetta. Tämä on ajateltu siten, että jokaisella tuoteperheellä on oltava oma tarvehierarkia. Tämä ei tuo SAP:ssa mitään lisäarvoa tuotannonsuunnitteluun ja vaikeuttaa myyjien työtä, kun he valitsevat ylimmän tason materiaalinimikettä. Asiakasnäkökulmasta tuoteperheajattelu pystytään SAP:ssa näkemään tulossyksikön (*profit center*) avulla, jota käytetään tahtikoneissa yleisesti raporttien tekoon. Tulossyksikkö asetetaan myyntitilaukselle myyjien toimesta, kun he kirjaavat myyntitilausta SAP:iin.

Suuri määrä eri tuoteperheitä on myös luonut muutamia virhetilanteita tuotantoon. Yksi virhetilanne, joka esiintyy aika ajoin, on myyntitilauksen kirjaaminen SAP:iin virheellisesti myyjien toimesta. Tässä myyjät eivät tiedä mikä tuoteperhemateriaali on kyseessä tai minkä tyyppisen tarvehierarkian myyntilaus tarvitsee. Tämän seurauksena tuotannossa esiintyy läpimenoajoiltaan virheellisiä koneita, joilla on joko liian pitkä tai liian lyhyt tuotannon läpimenoaika. Tarvehierarkian uudelleen tekeminen helpottaisi tuotannonsuunnittelua monelta osin. Uusien tarvehierarkioihin avulla saataisiin myös tuotannonkuormituksen ja -ohjauksen kannoilta loppukokoonpanoon tarvittavat kokoonpano- ja koestuspaikat, vyyhdensuorittamiseen eristekoneiden kapasiteetit näkyville ja tarkemmat läpimenoajat sekä puskuriajat kaikkiin työyksikköihin.

Tarvehierarkioiden uudelleen tekemiseen liittyviä ongelmia ovat Team Centerin (TC) käyttö rakenteen siirrossa SAP:iin. TC:tä pitäisi päivittää tarvittavilta osin

uusille tarvehierarkioille sopivaksi. Tämä tulee ongelmaksi, jos ei oteta TC:stä tulevia parametreja huomioon tarpeeksi. Toinen asia on tarvehierarkioiden ylimpien tasojen synkronointia muiden SAP-moduulien kanssa. Tarvittavia tietoja, joita pitää asettaa material masteriin (MM-moduuli) eli ylimmän tason tarvehierarkian materiaalinimikkeeseen, ovat tietoudet uusista materiaaleista omassa tehtaassa SD- ja FICO-moduulien välilehtiin, ajoitukset ja puskurit tuotannonsuunnittelu-moduulin välilehtiin ja varastopaikan asettaminen uusiin materiaaleihin VM-moduulin välilehteen sekä laatutarkastukset QM-moduulin välilehteen. Muita tietoja, joita on laitettava ainoastaan ylimpään tasoon, ovat luokitustiedot. Luokitustietojen avulla asetetaan myyntitilaukselle myyjän toimesta koneen teknilliset tiedot SAP ERP -järjestelmään. Teknillisten tietojen avulla koneelle tehdään yksilöllinen tuotannon reititys eri vaiheiden läpimenoaikoineen.

Uusien tarvehierarkioiden haasteena on SIS-järjestelmän (*sales information system*) uusiminen tarvehierarkioiden päivittämisen jälkeen tai sen aikana. SIS-järjestelmä näyttää asiakkaalle koneen tilan ja tuotannon läpimenovaiheen reaaliajassa ABB:n kotisivuilla. Toinen haaste on tarvehierarkioiden päivittäminen ja käyttöönotto sujuvasti ilman ongelmatilanteita. Tarvehierarkioiden päivittäminen vie useita työtunteja, koska kaikki uuden tarvehierarkian komponentit pitää tehdä uusiksi material masterille ja näiden lisäksi jokaiselle komponentille täytyy tehdä uudet reititykset. Reitityksien avulla saadaan tuotannon läpimenoaika selville eri tuotannon välivaiheissa puskureineen.

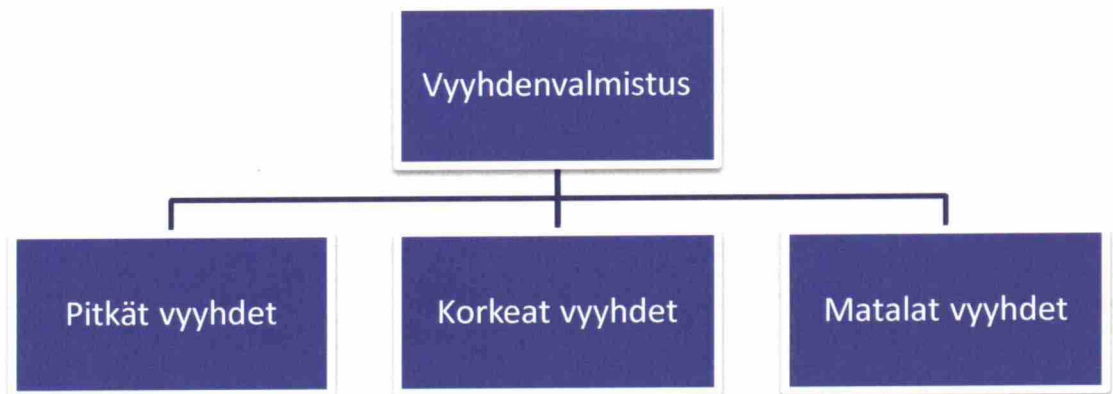
### ***Tuotantoresurssien tarkentaminen ja esiintuominen SAP ERP -järjestelmään***

Kaikkia tuotantoresursseja ei ole mallinnettu SAP ERP -järjestelmään. Näistä tärkeimmät tuotantoresurssien mallintaminen kannalta ovat vyyhdenvalmistus, loppukokoonpano ja lattakuparinapojen tuotantokapasiteetti. Lattakuparinapojen teko on ulkoistettu yhdelle alihankkijalle, jolla on tietty tuotantokapasiteetti käytössä lattakuparinapojen valmistukseen.

Vyyhdenvalmistuksesta ja loppukokoonpanosta tarvitaan tarkempia kuvauksia kapasiteeteista. Vyyhdenvalmistuksessa pullonkauloiksi muodostuvat eristekoneet,



joiden kapasiteettia ei ole otettu huomioon SAP:ssa. Eristekoneiden esiintuominen SAP:ssa helpottaa tuotannonsuunnittelua ja mahdolliset kapasiteettirajoitteet nähdään hyvin aikaisessa vaiheessa. Tämän avulla voidaan vyyhdenvalmistusta paremmin ajoittaa eristekoneiden kapasiteetin suhteen. Vyyhdenvalmistuksen eristekoneiden kapasiteetit voidaan huomioida kahdella tavalla: joko hierarkisoimalla työyksikkö koneiden mukaan erilisiin työyksiköihin tai tekemällä kriittiselle koneelle tai koneille omat kapasiteetit työntekijöiden kapasiteetin rinnalle niin, että työnjohtajat saavat näkyville joko kaikkien valmistettavien koneiden työjonot samasta työyksiköstä tai he voivat tutkia eri eristekoneiden työjonoja erikseen. Vyyhdenvalmistus voidaan hierarkisoida kuvan 34 mukaan, jossa eri eristekoneet asetetaan eri työyksiköihin vyyhdenvalmistusyksikön alle. Ylimmällä tasolla hallinnoidaan työntekijöiden kapasiteettia, jota käytetään alemmissa työyksiköissä yhteisenä resurssina ja vain ylimmällä tasolla on vaihe, joka pitää kuitata valmiiksi. Alempien tasojen vaiheita ei tarvitse kuitata valmiiksi, koska ne ovat tehdyt vain kapasiteettitarkasteluihin.

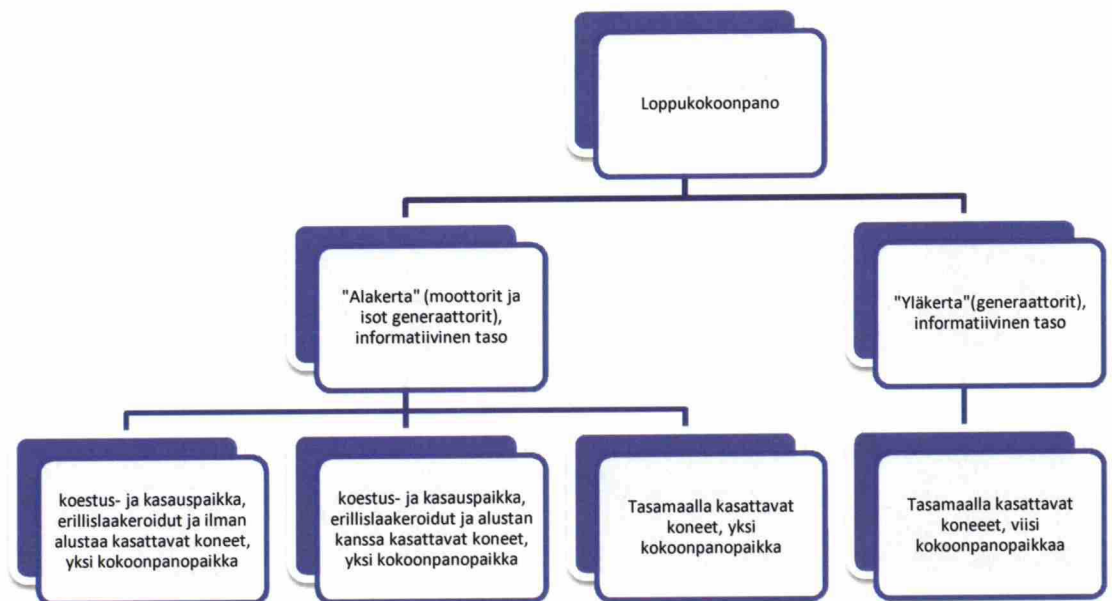


**Kuva 34. Vyyhdenvalmistuksen hierarkiasoiminen kapasiteettitasolla.**

Loppukokoonpano kuvataan SAP:ssa yhtenä osastona, jossa otetaan huomioon työntekijöiden lukumäärästä summautuva kokonaiskapasiteetti. Loppukokoonpanon koestuspaikat voidaan kuvata SAP:iin laittamalla koestuspaikat tarvehierarkiaan reitityksen avulla ja hierarkisoimalla loppukokoonpano kokoonpanopaikkakohtaisesti. Loppukokoonpano voidaan hierarkisoida kahteen eri ryhmään, joista toisessa ryhmässä olisi mukana kokoonpano- ja koestuspaikat ja



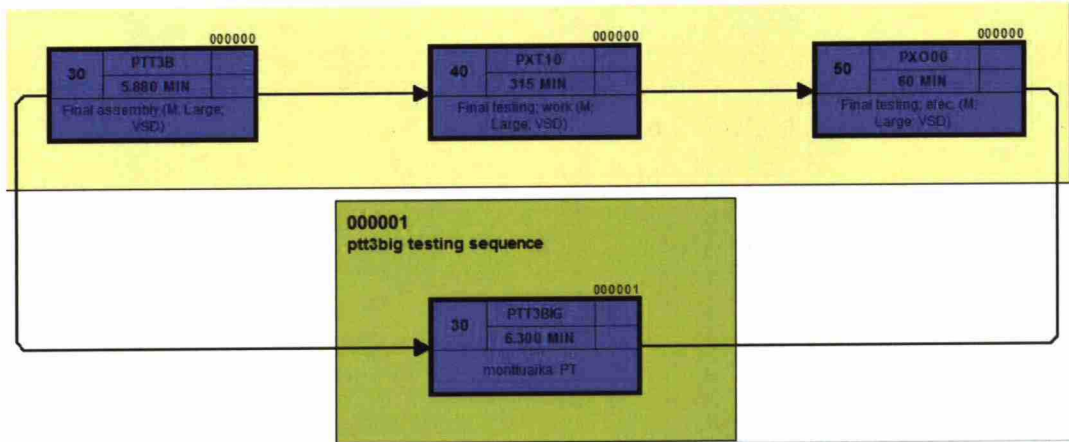
toisessa tasamaan kokoonpanopaikat. Tämä antaisi paremman kuvan tuotannosta ja näyttäisi paremmin sen, miten loppukokoonpano on jakautunut tehtaalla (ks. layout kuvassa 27). Kuvassa 35 on kuvattuna loppukokoonpanon muutosehdotus SAP:ssa. Rajoitteiden tekeminen SAP:ssa on myös mahdollista, jos halutaan varmistaa se, että töitä ei tule päällekkäin suunnitelluksi SAP:ssa kokoonpano- ja koestuspaikoille. Muutosehdotuksessa tarkoituksena on, että loppukokoonpanon työntekijät toimisivat kaikissa alatasen työpisteissä yhteisenä resurssina, jota hallinnoidaan ylimmällä tasolla. Töiden aloitus- ja lopetuskuitaukset tapahtuisivat ylimmässä tasossa niin, että alempia tasoja ei tarvitsisi kuitata. Tämä pysyisi samana tuotannon näkökulmasta eikä aiheuttaisi lisätoimenpiteitä tai uusia kuittaustoimenpiteitä tuotannon työntekijöiltä.



**Kuva 35. Loppukokoonpanon hierarkia tuotannonsuunnittelun käyttöön.**

Loppukokoonpanon koestus- ja kokoonpanopaikkoja on myös mahdollista mallintaa kuormitusmielessä niin, että loppukokoonpanon ja koestuksen läpimenoajan rinnalla olisi koestus- ja kokoonpanopaikan läpimenoaika tai ns. varausaika. Tämä voidaan luoda SAP ERP -järjestelmässä rinnakkaisen vaiheen (*parallel sequence*) avulla reititystä rakennettaessa. Kuvassa 36 on kuvattuna rinnakkaisen vaiheen ja tuotantovaiheiden mallinnus SAP ERP -järjestelmässä. Tämän avulla saataisiin suoraan selville kokoonpano- ja koestuspaikkojen kuormitustilanne ja mahdollisten

pullonkaulojen syntyminen tuotantoon. Tämän avulla ei syntyisi muutoksia loppukokoonpanon työntekijöille ja työnjohtajille, koska niiden ei tarvitsisi operoida näiden uusien työpisteiden kuormituksien kanssa, vaan niiden työtehtävät pysyisivät samana kuin ennenkin.



**Kuva 36. Työvaiheiden rinnalla kokoonpano- ja koestuspaikan varausaika.**

Lattakuparinapojen kokonaiskapasiteetin määrittäminen ja mallintaminen on hyvin vaikeaa, koska SAP ERP -järjestelmästä on tällä hetkellä hyvin vaikea eritellä lattakuparinapojen hankinta-aloitteita ajoissa. Jos pelkkien hankinta-aloitteiden avulla alettaisiin rakentaa järjestelmää kapasiteetin määrittämiseen, olisi se liian myöhäistä tuotannon kannalta. Lattakuparien kuormitustilanne pitää olla selvillä hyvissä ajoin jo ennen aloituspalaveria tai viimeistään aloituspalaverissa, koska silloin vielä pystytään vaikuttamaan lattakuparien kuormitustilanteeseen ajoittamalla koneet järkevämmiin tuotantoon tai tekemällä lattakuparien hankinta-aloitteista kriittisiä.

Lattakuparien kokonaiskapasiteetin mallintamien voidaan tehdä useiden eri vaihtoehtojen avulla kuten esimerkiksi rakentamalla ulkoinen työyksikkö (external work center) SAP ERP -järjestelmään tai rakentamalla haamutyöyksikkö SAP ERP -järjestelmään. Ulkoisen työyksikön rakentamiseen tarvitaan tällä hetkellä SAP-konsulttien apua, koska sellaista ei ole saatavilla ainakaan tämän hetkiseen SAP ERP -järjestelmään. Haamutyöyksikön rakentamisen ongelmana on se, että sitä pitää ylläpitää manuaalisesti. Tämä toteutetaan tekemällä material masterille materiaaleja, joissa on

reitityksenä läpimenoajaltaan eripituisia aikoja. Materiaalit kuormittavat haamutyöyksikköä, joka kuvaa alihankkijan lattakuparinapojen tuotantoyksikköä. Näitä materiaaleja syötetään käsin haluttuihin aikoihin joko kuukausitasolla tai päivätasolla.

### ***Ennusteiden luettavuuden parantaminen***

Ennustetietojen selkeyttämiseksi pyritään tarkemmat ja todennäköisemmin toteutuvat ennusteet eriyttämään muista ennusteista. Näitä ennusteita ovat avainasiakkaiden ennusteet, jotka ovat huomattavasti tarkempia kuin muut ennusteet. Toimenpiteenä ennustetietoja kirjataan SAP:iin kahdella eri transaktiolla, jossa toisessa on myyjien tekemä rullaava myyntiennuste ja toisessa ovat avainasiakkaiden tarkemmat ennusteet. Avainasiakkaiden ennusteet voidaan myös ajoittaa tarkemmin tuotantoon ja muuttaa helposti myyntitilaukseksi.

Avainasiakkaat haluavat kapasiteettivaroituksia, jotka näkyvät ennusteina SAP:ssa. Kulutussääntöjä ja muita ongelmia, joita esiintyy ennusteiden hallinnassa SAP:ssa, tarkastellaan tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

## **4 Ohjaustyökalujen systematisointi**

### **4.1 SAP PP -ohjeiden teko ja kuormantasaussääntöjen päivittäminen**

Ohjaustyökalujen systematisointi aloitettiin tuotannonsuunnittelun ohjeiden päivittämisellä. Aikaansaannoksena syntyi ohjeisto (LIITE B), joka sisältää kaikki tarvittavat SAP-ohjeet tuotannonsuunnittelijan päivittäiseen tarpeeseen. Ohjeiston myötä myös uusien työntekijöiden perehdyttäminen on huomattavasti helpompaa, kun kaikki ohjeet ovat helposti saatavilla samasta asiakirjasta. SAP-ohjeisto antaa myös hyvän kuvan tuotannonsuunnittelijoiden päivittäisistä työtehtävistä. Samalla päivitettiin kuormantasaussääntöjä selvemmiksi, josta saadaan suoraan selville tuotannossa olevat rajoitukset.

Kuormantasaussäännöistä on tehty myyjille erillinen Excel-tiedosto, jota myyjät voivat käyttää hyväksi tarjouksia tehdessään ilman tuotannonsuunnittelijoiden apua. Kuitenkin myyjien on tiedotettava mahdollisista kaupoista tuotannonsuunnittelijoita etukäteen, jotta tuotannonsuunnittelijat voivat varmistaa koneiden valmistettavuuskelpoisuuden kyseisenä ajankohtana. Näin vältetään mahdollisista ylikuormatilanteista ja mahdollisten pullonkaulojen syntymisistä.

Kuormantasaussäännöt tulevat esille seuraavassa kappaleessa tarkemmin, mutta kuormantasaussäännöt ovat uusien tuotantoresurssien käyttöönoton jälkeen suoraan saatavilla SAP ERP -järjestelmästä. SAP ERP -järjestelmästä nähdään suoraan tietyn koneen mahdollisuudet valmistua tiettyä ajankohtana. Hienokuormituksen tekevät valmistuspäälliköt yhdessä työnjohtajien kanssa.

### **4.2 Tuotantoresurssien esiintuominen SAP ERP -järjestelmään**

SAP:n ohjaustyökalujen systematisoinnin eteen on tehty monta eri parannusta ja parannusehdotusta. SAP:ssa aluksi lähdettiin ongelmasta, joka liittyy loppukokoonpanon kokoonpanopaikkojen puuttumiseen SAP ERP -järjestelmästä. Tämän ongelman ratkaisuun tarvitaan tietous eri konetyyppien kokoonpanopaikkojen sopivuudesta ja läpimenoajoista. Kun ne ovat selvillä, asetetaan kokoonpanopaikat näkyviin SAP:iin erillisinä työyksikköinä.



Kokoonpanopaikat muodostetaan SAP:iin erillisinä työyksikköinä hierarkian avulla, jossa hierarkian alimmalla tasolla ovat kokoonpanopaikat. Hierarkia toteutettiin käyttämällä transaktioita CR21(hierarkian luominen) ja CR01(työpisteen luominen, koestuspaikat). Hierarkiassa työntekijöiden kapasiteettia käytetään kaikissa kokoonpanopaikoissa yhteisenä resurssina. Loppukokoonpanon kaikki koneet ovat samassa työjonossa. Kokoonpanopaikat ovat mallinnettuina rinnakkaisina operaatioina tuotannon työjonon viereen, koska kokoonpanopaikan varausaikaa käyttävät myös koestus ja sen jälkeen tapahtuva koneen purkuvaihe. Kokoonpanopaikan varausaikaa ei tarvitse kuitata valmiiksi, jolloin se häviäisi normaali tapauksessa tuotantokuormasta. Kokoonpanopaikan varausaika poistuu tuotantokuormasta, kun koestusvaihe tai jossain tapauksissa purkuvaihe on kuitattu valmiiksi. Myöskään mitään kustannuksia ei tarvitse allokoida kokoonpanopaikkojen kapasiteetin käytön kohdalla.

Yhteensä luotiin neljä uutta työyksikköä eri kokoonpanopaikoille (tasamaakokoonpanopaikkoja kaksi ja molemmille koestus- ja kokoonpanopaikoille yksi). Tasamaakokoonpanopaikkoja luotiin kaksi, koska generaattoreita voidaan samaan aikaan kasata viisi kerrallaan kuvassa 27 vasemmalla puolella ja moottoreita tai generaattoreita yhden kerrallaan kuvassa 27 oikealla puolella.

Vyyhdenvalmistusyksikkö luotiin SAP:iin eriyttämällä yksikkö kolmeen eri kategoriaan vyyhtikoneiden mukaan (pitkiin, korkeisiin ja mataliin vyyhteisiin). Tämän avulla nähdään suoraan, onko tiettyä vyyhtityyppiä liika kuormitettuna tietyllä ajanhetkellä. Tämän perusteella tilauksia voidaan ajoittaa järkevämmiin sen mukaan, mistä vyyhtityypistä tulisi pullonkaula tietyllä ajanhetkellä. Tämä toteutettiin SAP:iin muodostamalla eri työyksiköt pitkille, korkeille ja matalille vyyhtityypeille CR01-transaktiolla. Jokaisessa työyksikössä on huomioitu koneiden kapasiteetit erikseen.

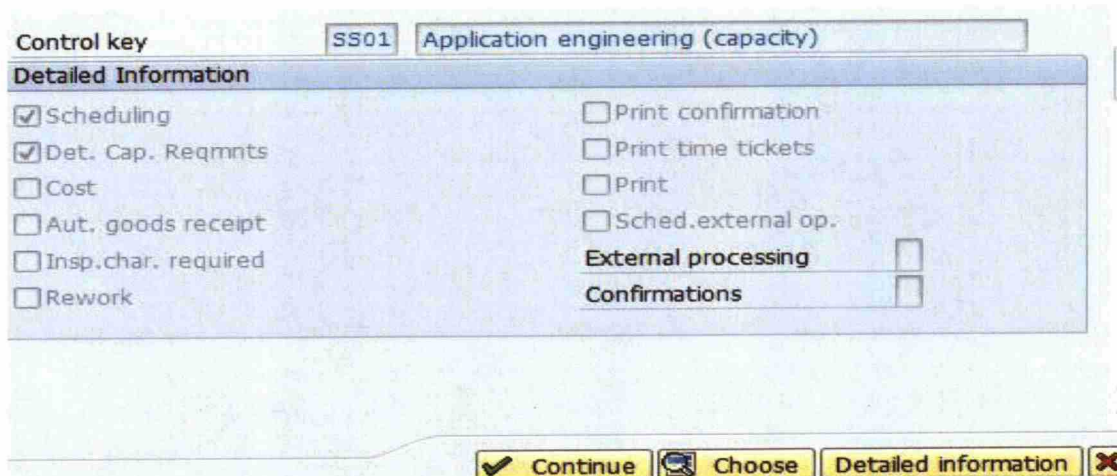
Matalat, korkeat ja pitkät vyyhdenvalmistuksen työyksiköt ovat työntekijä työyksikön rinnalla, kun tuotteelle tuotantoreittiä suunnitellaan, ja ne eivät vaadi uusia toimenpiteitä työntekijöiden tai vyyhdenvalmistuksen työnjohtajien osalta. Tämä parannus on ensisijaisesti tarkoitettu tuotannonsuunnittelun tarpeisiin, mutta

työnjohtajatkin voivat seurata kapasiteetin kuormituksia eri vyyhtikoneilla, ja siten se auttaa työntekijöiden työskentelyä.

Lattakuparinapojen toimittajan kapasiteetin esiintuominen rakennettiin helpoimman ja nopeimman toteutusvaihtoehdon mukaan, eli muodostettiin työyksikkö kuvaamaan lattakuparinapojen valmistusta toimittajalla, johon kapasiteetiksi asetettiin toimittajan lattakuparinapojenvalmistuskapasiteetti. Lattakuparinapojen tarvehierarkioita muodostettiin 5 kappaletta, joka kattaa kaikki toimittajalle tulevat kuormitusvaihtoehdot lattakupareissa. Lattakuparinapojen kuormituksenhallintaa operoidaan CIR-ennusteiden avulla manuaalisesti, jolloin tuotannonsuunnittelija lisää tai poistaa lattakuparinapakuormitusta lattakuparinapatyöyksiköstä. Tätä on mahdollista ainakin vielä ylläpitää suhteellisen vaivattomasti, koska lattakuparinapoja tarvitsevia koneita valmistetaan vuodessa keskimäärin 20 kappaletta. Jos valmistus kasvaa tulevaisuudessa, ratkaisuksi voitaisiin ottaa ulkoisen työyksikön muodostaminen SAP:iin.

Kokoonpano- ja koestuspaikkojen, vyyhdenvalmistuksen koneiden kapasiteettien sekä lattakuparinapojen kapasiteettien luomiset SAP:iin helpottavat myös kuormantasaussääntöjen noudattamista, koska tämän avulla nähdään SAP:sta suoraan, onko tietyssä kokoonpano- ja koestuspaikassa vapaata tilaa tietyllä ajanhetkellä tai onko vyyhdenvalmistuksessa mahdollista valmistaa tiettyjä vyyhtejä tietyllä ajankohdalla. Näin kuormantasaussäännöt on melkein integroitu SAP:iin, minkä tuloksena ylikuormatilanteita ei juurikaan muodostu tietylle kokoonpano- ja koestuspaikalle tai vyyhdenvalmistukseen. Työntekijöiden kapasiteetti osastoilla on tietenkin huomioitava erikseen, mutta sekin näkyy SAP:ssa CM01-transaktiolla.

Kaikille uusille työyksiköille asetettiin esiasetukseksi ohjausavain, joka ei luo kustannuksia operaatioille vaan vain kapasiteetti- ja kuormitustarpeita. Kuvassa 37 on ohjausavaimen kuvaus, josta nähdään ohjausavaimen SS01 kuvaus SAP:ssa. Ohjausavaimen SS01 käyttö on oleellinen koko prosessin toimivuuden kannalta, koska ilman oikean ohjausavaimen käyttöä voi syntyä tarpeettomia kustannuksia tai kuittautarpeita.



Kuva 37. Ohjausavain SS01.

### 4.3 Tarvehierarkian uusiminen

SAP:iin uusien tuotantoresurssien luominen tarkoittaa myös tarvehierarkian uudistamista ja reitityksien päivittämistä, jotta uudet koestuspaikat ja vyyhdenvalmistuksen työpisteet saadaan esille ja käyttöön. Tarvehierarkioiden uudistamisen tarkoituksena on tarkentaa työvaiheisiin liittyviä läpimenoaikoja ja tehdä rakenteesta joustavampaa eri koneiden teknillisten tietojen asettamien tarpeiden suhteen. Ennen teknillisiä tietoja ei ole käytetty hyväksi tuotannonsuunnittelussa ja tuotannon läpimenoaikoja määriteltäessä.


Tarvehierarkioiden uudistamisen yhteydessä uudistettiin samalla tarvehierarkioiden ylin taso ja sen alatasot niin, että ne tukevat paremmin tuoteperheajattelua tuotannon näkökulmasta. Ylimpien tasojen nimikoodit muutettiin liitteen 3 mukaisiksi, josta nähdään helposti minkä tyyppiseen valmistusmalliin kone kuuluu. Myyjät valitsevat valmistusmallit ja kirjaavat myyntitilauksen SAP:iin. Uudet tarvehierarkiat ovat liitteen 3 mukaisia, jossa nähdään muutokset alkuperäisiin tarvehierarkioihin (LIITE A) verrattuina. Suurimpana muutoksena voidaan nähdä tarvehierarkioiden ylimpien tasojen määrän supistuminen kahdeksaan alkuperäisistä 23:sta ja suurempi valintojen tekemisen mahdollisuus tuotantoreitityksien kesken. Tuotantoreittien valintaan vaikuttavat teknilliset tiedot koneesta. Tällä perusteella valitaan oikeat tarvehierarkian alatasojen komponentit koneelle. Tarvehierarkian komponentit ovat päivitettyt uusiin, jotka tukevat paremmin valintojen tekemisiä tuotannonsuunnittelu-





vaiheessa. Eri komponenttivaliointien lukumäärä on suurehko, jolloin on mahdollista suunnitella mahdollisimman tarkka läpimenoaika ja valmistusreitti koneelle.


Komponenttien määritysten ohella on valittava tuotantoreitit tarvehierarkian komponenteille. Reitit ovat ryhmiteltyinä ja nimetty selkeästi eri kategorioihin. Kategoriat ovat rakennettu CA01-transaktiolla yhteen reittiin ryhmänumeroinnin (group counter) avulla, jossa jokaiseen eri numeroon on nimetty ja määritetty läpimenoajaltaan eripituisia prosessiaikoja eri työvaiheille. Kuvassa 38 on kuvattuna yhden reitin eri vaihtoehdot ja prosessien kestot. Ryhmien nimestä on pyritty tekemään valaisevia, jotta jo nimestä saataisiin selville, mihin tarvehierarkiaan ja mihin osaan komponentti kuuluu. Ennen ryhmän nimessä on ollut pelkkä numerosarja ilman mitään muuta kirjainyhdistelmää. Tästä johtuen ei eri ryhmiä voitu hakea ryhmän nimen perusteella ja eri ryhmien tunnistaminen oli hankalaa.

Display Routing: Overview

 Sequences

 Operations

 MatlAssignment

 CompAlloc

Group 2GMZP100

| Header overv. |                                    |       |    |     |     |     |             |      |  |
|---------------|------------------------------------|-------|----|-----|-----|-----|-------------|------|--|
| GrC           | Task list description              | Plant | U. | S.. | P.. | F.. | To lot size | U... |  |
| 1             | Gen. medium Machine, complete(mod) | 0500  | 1  | 4   |     | 0   | 99.999.999  | PC   |  |
| 2             | Gen. m., PT116, ptt3b , test       | 0500  | 1  | 4   |     | 0   | 99.999.999  | PC   |  |
| 3             | Gen. m., PT116, ptt3b , test       | 0500  | 1  | 4   |     | 0   | 99.999.999  | PC   |  |
| 4             | Gen. m., PT116, ptt3b , tes        | 0500  | 1  | 4   |     | 0   | 99.999.999  | PC   |  |
| 5             | Gen. m., PT116, ptt3b , tes        | 0500  | 1  | 4   |     | 0   | 99.999.999  | PC   |  |
| 6             | Gen. m., PT115, ptt3b , tes        | 0500  | 1  | 4   |     | 0   | 99.999.999  | PC   |  |
| 7             | Gen. m., PT115, ptt3b , tes        | 0500  | 1  | 4   |     | 0   | 99.999.999  | PC   |  |
| 8             | Gen. m., PT115, ptt3b , tes        | 0500  | 1  | 4   |     | 0   | 99.999.999  | PC   |  |

**Kuva 38. Reitityksien järjestäminen ryhmänumeroinnin avulla eripituisiin läpimenoaikoihin.**

Koneiden tuotannon reitityksen ja komponentti valintojen apuna käytetään Excel-tiedostoa (LIITE D), jossa on kaikki reitit mallinnettu ja eri reititysvaihtoehdot



selkeästi saatavilla. Excel-tiedostossa on määritelty eri konetyyppien läpimenoaikaan vaikuttavia asioita. Läpimenoaikaan vaikuttavia asioita ovat koneen akselikorkeus, napaluku, jännite, roottorityyppi, laakerityyppi ja vyyhdin pituus sekä mahdolliset lisälaitteiden asennukset ja ylimääräiset testit.

Kun uudet tarvehierarkiat ovat valmiina, täytyy päivittää SIS-järjestelmä, jotta asiakkaat näkevät omien ostotilaustensa tilanteet oikein. Tämä toteutettiin lisäämällä uusia parametreja SIS-järjestelmään vanhojen lisäksi, jotta vanhojen tarvehierarkioiden tiedot pitäisivät paikkansa. Vanhat tarvehierarkiat kuluvat pois SAP-järjestelmästä ja SIS-järjestelmästä ajallaan. Niitä ei voi vain vaihtaa uusiin tarvehierarkioihin, koska vanhojen tarvehierarkioiden mukaan tehtyjä myyntitilauksia on satoja ja tarvehierarkian ylintä tasoa ei voi muuttaa myyntitilauksessa.

Ajallisesti mitattuna uusien tarvehierarkioiden tekeminen SAP ERP -järjestelmään vei hyvin paljon aikaa, koska jokaiseen ylimpään tasoon piti tehdä kymmenen alatasoa ja kaikille tasoille piti tehdä useita eri reititysvaihtoehtoja. Toinen asia, joka vei aikaa huomattavasti, oli kaikkien aikaisempien myyntitilauksien muuttaminen uusien tarvehierarkioiden mukaisiksi. Ratkaisuna muutetaan reititystietoja siten, että uudet tuotantoresurssien kuormitukset näkyvät oikein.

Uusien tarvehierarkioiden käytössä on huomioitava myyntitilausta kirjattaessa oikean tulosityksikön (profit center) asettaminen, koska nyt siihen tulee ”material masterilla” oleva vakiotulosityksikkö. Vakiotulosityksiköksi on valittu jokaisen tarvehierarkian yleisin tulosityksikkö. Tulosityksikön avulla kohdennetaan myyntitilaus oikeaan tuoteperheeseen. Tulosityksikön oikeinkirjaus varmistetaan viimeistään aloituspalaverissa.

#### **4.4 Ennustetietojen luominen SAP ERP -järjestelmään**

Seuraavaksi uusien malli BOM:ien valmistuksen jälkeen järjestelmän PIR-ennusteiden tarvehierarkiat täytyy uusua, jotta ne pitäisivät paikkaansa uusien tarvehierarkioiden suhteen. Samalla avainasiakkaiden varaukset ja CIR-ennusteet eriytettiin omaan taulukkoon, jossa pystytään joustavammin ja nopeammin

reagoimaan avainasiakkaan muutospyyntöihin omista kapasiteettivarouksista sekä muiden asiakkaiden lyhytaikaisiin kapasiteettivarouksiin. Samalla avainasiakkaiden kapasiteettivaraukset näkyvät SAP:ssa omilla asiakasnumeroilla. Liitteessä 3 nähdään uudet PIR-materiaalit ja uudet CIR-materiaalit. PIR-ennusteet syötetään SAP:ssa MD61 avulla. Kuvassa 39 on syöttötaulukko, johon syötetään PIR-ennusteet viikkotasoisesti.

Reqmts Plan

PT

Planning start

02.04.2012

Planning End

15.05.2013

Table

Items

Sched. lines

| Et | Material       | MR... | V  | A | B. | M 04.2... | M 05.2... | M 06.2... | W 23.2... | W 24.2... | W 25.2... | W 27.2... | W 28.2... | W 29.2... | W 30.2... | W 31.2... | M |
|----|----------------|-------|----|---|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|
|    | 3AFFAMGLLEF    | 0000  | 00 |   | PC |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 1         |           |   |
|    | 3AFFAMGLLF     | 0500  | 00 |   | PC |           |           |           |           |           |           | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1 |
|    | 3AFFAMGLSEF    | 0500  | 00 |   | PC |           |           |           |           |           |           | 1         | 1         | 1         | 1         |           | 2 |
|    | 3AFFAMGLSF     | 0500  | 00 |   | PC |           |           |           | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         |           |   |
|    | 3AFFAMGLMF     | 0500  | 00 |   | PC |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |   |
|    | 3AFFAMGMEF     | 0500  | 00 |   | PC |           |           |           |           |           | 1         |           |           |           |           |           |   |
|    | 3AFFAMGMSF     | 0500  | 00 |   | PC |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 1         |           |   |
|    | 3AFFAMZALZP100 | 0500  | 00 |   | PC |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |   |
|    | 3AFFAMZLF      | 0500  | 00 |   | PC |           |           |           | 1         |           |           |           |           |           |           |           |   |
|    | 3AFFAMZLSF     | 0500  | 00 |   | PC |           |           |           |           |           |           | 1         |           |           |           |           |   |
|    | 3AFFAMZMSF     | 0500  | 00 |   | PC |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |   |
|    |                | 00    |    |   |    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |   |
|    |                | 00    |    |   |    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |   |
|    |                | 00    |    |   |    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |   |
|    |                | 00    |    |   |    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |   |
|    |                | 00    |    |   |    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |   |
|    |                | 00    |    |   |    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |   |
|    |                | 00    |    |   |    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |   |
|    |                | 00    |    |   |    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |   |
|    |                | 00    |    |   |    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |   |
|    |                | 00    |    |   |    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |   |

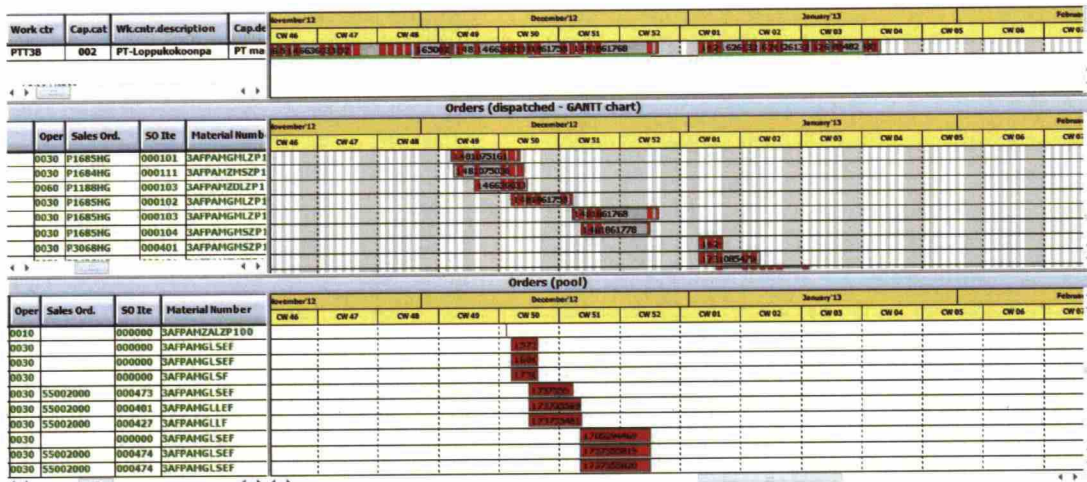
**Kuva 39. PIR-ennusteiden syöttötaulukko.**

CIR-asiakasennusteiden syöttäminen SAP:iin on helpottunut huomattavasti, ja tietojen muokkaus käy nopeasti. CIR-asiakasennuste tehtiin käyttämättömällä MD81-transaktiota (kuva 40), johon määriteltiin tarvittavat arvot ja asiakasnumerot. MD81:llä tehtyt CIR-asiakasennusteet näkyvät SAP:ssa lähestulkoon samanlaisina kuin myyntitilaukset. Poikkeuksena myyntitilauksiin CIR ei aiheuta mitään toimenpiteitä muualla kuin tuotannonsuunnittelussa. Tuotannonsuunnittelijan tehtävänä on määrittää oikeat valmistuspäivämäärät CIR-asiakasennusteille, jotta ne voitaisiin valmistaa mahdollisimman tarkasti ja joustavasti. CIR-asiakasennusteen toteutuessa tai tarjousajan umpeutuessa tuotannonsuunnittelija joko poistaa CIR-asiakasennusteen tai asettaa sen TECO-tilaan (technically completed). CIR-asiakasennusteissa ei voi olla konfiguroituvia materiaaleja, ja siten niihin ei voi asettaa suoraan samoja materiaaleja (kuvassa material kohta) kuin myyntitilauksiin. CIR-asiakasennusteiden materiaali eli tarvehierarkian ylimmän tason täytyy tästä

[illegible]

CIR-asiakasennusteet näkyvät SAP:ssa kapasiteetin tasapainotustaulukossa (CM21) hyvin selkeästi, ja niitä voidaan helposti sijoittaa haluttuihin ajankohtiin luontevasti. Kuvassa 41 on näkymä tilauskannasta, jolla ohjataan loppukokoonpanon tuotantoa. Myyntitilaukset, jotka alkavat numeroilla 5500, ovat CIR-asiakasennusteita, jotka näkyvät alemmassa taulukossa. CIR-asiakasennusteet ovat tähän syötetty viikkotasolla, jolloin ne tulevat samoille päiville. Asiakasennusteita voidaan CM21-transaktiossa sijoitella tuotantoon tarvittaessa tarkemmin. Jos halutaan varata tuotannosta kapasiteettiä melkein varmalle tilaukselle, syötetään se päivätasoisena kuvan 40 taulukkoon. Alemmassa taulukossa olevat tyhjät myyntitilausrivit ovat PIR-ennusteita, joita ei ole määritetty kenellekään asiakkaalle erikseen.





**Kuva 41. Asiakasennusteiden näkyminen tilauskannassa. Transaktio CM21.**

Ennusteiden uusimisessa ei ole otettu huomioon kulutussääntöjä, vaikka niitä olisi mahdollista käyttää. Kulutussääntöjen toteuttamisen ongelmana ovat käyttöoikeuksien puute SAP:ssa. Kulutussääntöjen avulla olisi ollut mahdollista kuluttaa haluttu ennuste toteutuneella myyntitilauksella. Tämä mahdollisuus olisi vähentänyt tuplakuormitusilanteita silloin, kun kirjataan ennusteessa oleva tarjous toteutuneeksi kaupaksi. SAP:ssa olisi ollut valmiina useita eri kulutusstrategioita MTO-tuotantoon, joista olisi voitu räätälöidä omiin tarpeisiin mahdolliset kulutussäännöt.

PIR-ennusteiden syöttötransaktiolla MD61:llä on mahdollista tehdä myös simulointeja eri tuotantotilanteista tai voidaan tarkastella mahdollisten uusien tarjousten sopivuutta nykyiseen tilauskuormaan. Tämän avulla voidaan tehdä eri skenaarioita tulevaisuuden tarpeista ja kapasiteettitarpeista, jotka voidaan muuttaa helposti ennustetiedoiksi. Tätä työkalua voisi myyntiosasto käyttää, kun se suunnittelee uusia ennusteita tarkastellen samalla tuotannon nykyistä tilauskuormaa.

## 5 Johtopäätökset

Diplomityön tuloksena tuotannon kuormitettavuudesta on tullut tarkempaa ja entistä useampi tuotannon rajoite on otettu huomioon SAP ERP -järjestelmässä. Tuotannon rajoitteiden esiintuomisella on suora vaikutus sujuvampaan tuotannon kulkuun, koska tuotannon työkuormaa voidaan ajoittaa paremmin ja tuotannolliset mahdollisuudet voidaan ottaa huomioon tarpeeksi aikaisessa vaiheessa. Tämän perusteella on syytä olettaa, että tuotannon kapasiteetista ja kapasiteettirajoitteista johtuvat myöhästymiset saadaan oleellisesti eliminoidua. Tulosten varmistaminen vaatisi kuitenkin pitemmän aikavälin tutkimustyötä.

Uudistusten kautta tuotannonsuunnittelusta on tullut helpompaa, kun uusia tilauksia otetaan vastaan ja niitä sijoitellaan työkuormaan. Tuotannonsuunnittelun kannalta muutokset näkyvät jokapäiväisissä työtehtävissä. Uusia myyntitilauksia tarkastellaan tarkemmin ja niitä sijoitellaan huolellisemmin tuotannon eri vaiheisiin. Tämä tietenkin vie enemmän aikaa, mutta on kannattavampaa kuin se, että olisi käytössä kiinteät läpimenoajat kaikilla saman tuoteperheen tuotteilla, joihin kuitenkin tulisi muutoksia asiakkaiden tarpeiden mukaan.

Tuotannon eri työvaiheiden läpimenoaikoihin vaikuttavat suoraan tuotteen teknilliset tiedot. MTO-tuotantoon teknillisten tietojen parempi käyttö työnsuunnittelussa sopii paremmin, koska jokainen tuote on hieman yksilöllinen ja räätälöity asiakkaan tarpeisiin. Tästä johtuen tuotannon eri työvaiheiden kestot ovat riippuvaisia tuotteiden teknillisistä tiedoista. Tämä antaa tarkemman kuvan tuotteiden läpimenoajoista ja siten koko tuotannontilasta poistaen turhan pitkät tai liian lyhyet läpimenoajat reitityksiltä. Tuotannon näkökulmasta uudistukset eivät vaikuta tuotannon operatiiviseen toimintaan. Kaikki tuotantovaiheiden kuittaukset tapahtuvat normaalisti.

Mahdolliset tuotantoresurssipulat on otettu huomioon tuotannonsuunnittelussa jo tarjousvaiheessa. Useampien tuotantoresurssien esiintuominen SAP ERP -järjestelmässä on auttanut tuotannonsuunnittelua näkemään paremmin mahdolliset ongelmapaikat tuotannossa, ja näin estetään mahdollisten vahinkojen syntymiset

ajoissa ennen kuin mitään konkreettista on lyöty lukkoon asiakkaiden kanssa. Tuotantoresurssien esiintuominen antaa myös tuotantokuorman hallintaan uusia työkaluja, koska nyt nähdään suoraan SAP ERP -järjestelmästä mahdolliset kapasiteettiongelmat tietyn tyyppisten koneiden suhteen. Esimerkiksi generaattoreita voidaan koota vain tietty määrä kerrallaan.

Tuotannonsuunnittelun ohjeisto on nyt yhdessä asiakirjassa. Tämä auttaa löytämään tarvittavat tiedot samasta asiakirjasta ilman, että niitä joutuu etsimään lukuisista muista asiakirjoista. Samalla ohjeiden päivittäminen käy sujuvammin, koska yleensä muutoksilla yhdessä osassa PP-moduulia on vaikutusta muihinkin osiin PP-moduulia. Näin ei tarvitse päivittää lukuisia asiakirjoja vaan vain yhtä asiakirjaa.

Tarvehierarkian ylimmästä tasosta ja koko tarvehierarkiasta on tullut joustavampi muutoksille ja valintojen teoille. Ennen yhdelle konetyypille, joka oli tehty tuoteperheen mukaan, oli vain yksi reititysvaihtoehto kiinteillä läpimenoajoilla. Jos se kirjattiin väärin myyntitilaukselle, sitä ei voinut enää poistaa. Nyt yhdelle konetyypille on mahdollista tehdä lukuisia reititysvaihtoehtoja, jotka ovat sidoksissa tuotteen teknillisiin tietoihin.

Ennusteiden ja varausten tekemisestä ja hallinnasta on tullut helpompaa. Ennen varaukset tehtiin muistinvaraisesti, ja tuotannonsuunnittelija lupaili myyjille eri kapasiteettivarauksia. Nyt kapasiteettivaraukset kirjataan CIR-ennusteiden kautta järjestelmään, jolloin se ei ole enää tuotannonsuunnittelijalla muistinvaraisena tietona. Avainasiakkaiden CIR-ennusteiden avulla saadaan eroteltua melkein varmat ennusteet epävarmoista PIR-ennusteista. Tämä helpottaa tuotannonsuunnittelua, koska avainasiakkaiden ennusteet ovat paremmin muokattavissa, ja ne myös toteutuvat todennäköisemmin. CIR-ennusteet myös erottuvat selvästi tuotannon työjonosta asiakasnumeroinnin perusteella, jolloin voidaan suoraan nähdä eri asiakkaiden tilausennusteiden ja varauksien ajankohdat.

Myyjien tuotannon kapasiteettitarkasteluista on tullut helpompaa erillisen Excel-tiedoston avulla, jolloin he voivat tehdä nopeita tarkastuksia tuotannon



tilauskuormaan ja pystyvät näkemään suoraan ilman tuotannonsuunnittelijoiden avustusta, onko tietty kone mahdollista valmistaa tietyssä ajankohdassa.

## 6 Suositukset

Työn aikana on tullut esille eräitä parannusehdotusluonteisia suosituksia niihin ongelmiin, jotka liittyvät tahtikoneiden tuotannonsuunnitteluun ja raporttien tekemiseen. Suositukset ovat jaoteltuina projekteihin, jotka tulisi tehdä lähitulevaisuudessa, ja projekteihin, jotka olisivat suositeltavaa tehdä myöhemmässä vaiheessa.

### ***Lähitulevaisuudessa suositeltavat projektit***

Tuotannonsuunnittelussa raporttien tekeminen on vaikeata johtuen lukuisten eri tietojen etsimisestä SAP ERP -järjestelmän eri taulukoista, joista ne löytyvät eri transaktioiden takaa. SAP ERP -järjestelmään on mahdollista rakentaa SAP Queryjä, mikä mahdollistaa omien tiedustelujen tekemisen SAP ERP-järjestelmään. Kyselyjen avulla voidaan yhdistää lukuisia eri taulukoita, joista halutut tiedot ovat saatavilla. Tämä mahdollisuus tuli käyttöön tahtikoneissa helmikuussa 2012. Muutamia suosituksia, johon tätä työkalua voidaan käyttää, ovat Viron staattoreiden ja lattakuparinapojen hankinta-aloitteiden seuraaminen vahvistuksista toimituksiin sekä OTD-mittauksien tekoprosessi. Muitakin tiedusteluja on mahdollista tehdä, jos tarvetta esiintyy. Näiden suositusten toteuttaminen olisi suhteellisen halpaa ja riskitöntä, koska mitään uusia investointeja ei täydy tehdä ja työkalu on jo valmiina SAP ERP -järjestelmässä. Ainoat asiat, jotka maksavat suosituksen tekemisessä, ovat työkustannukset ja SAP Queryjen tekemiseen kouluttaminen. Koulutettavia ovat ainakin tuotannonsuunnittelijat ja mahdollisesti ostajat. Nämä kyselyt täytyy tehdä vain kerran, joten suositusten tekeminen ei ole kallista suhteessa hyötyihin. Hyötyjä ovat reaaliaikaisempi tieto hankinta-aloitteiden tiloista, raporttien teon nopeutuminen ja raporttien tekemisen helpottuminen.

Melkein kaikki ohjeet ovat vanhaa DG ERP -järjestelmää varten tehtyjä. Uusia SAP ERP -järjestelmään päivitettyjä ohjeita on niukasti. Suositeltavaa olisi päivittää yleiset ohjeet SAP ERP -järjestelmää varten, jotta kaikki ohjeet olisivat yhteneviä ja ajan tasalla.

Tiettyjen vakio-osien hankinta-aloitteiden automatisoinnilla ostajien työkuormaa voitaisiin pudottaa huomattavasti. Tällä hetkellä käsitellään noin 70 000 hankinta-aloitetta vuodessa. Joidenkin hankinta-aloitteiden tekeminen olisi mahdollista automatisoida, jos tiettyjä parametreja ylläpidettäisiin PDM-järjestelmässä. PDM-järjestelmässä myös uusien osien hallinnointia ja SAP ERP-järjestelmään tulevien osien hallinnointia voitaisiin parantaa. Tästä hyötyisi osto-osasto, joka pystyisi paremmin hallinnoimaan kasvavaa joukkoa eri materiaalinimikkeitä ja hankinta-aloitteita.

SAP ERP -järjestelmässä on valmius automatisoida hankinta-aloitteita, jos automaatti-indikaattori on asetettu päälle sekä hankinta-aloitteen materiaalin material masterille että alihankkijalle. Tässä pitää huomioida se, että material masterilla on kaikki tarvittavat tiedot asetettuina ja ylläpidettynä sekä, että alihankkija on valtuutettu automaattihankkijaksi. Riskejä syntyy, jos material masteria ei päivitetä muutosten tapahtuessa tai automaattialihankkija vaihtuu toiseksi. Tämän projektin aikana olisi myös harkittavana osien materiaalinimikkeiden muokkaaminen niin, että niitä voitaisiin paremmin hakea SAP ERP -järjestelmästä. Materiaalinimikkeiden standardisointi auttaisi SAP ERP -järjestelmässä olevia hakuprosesseja. Nyt on vaikea löytää tiettyjä materiaaleja pelkän materiaalinimikkeen perusteella, koska jokaiselle koneelle on sille yksilöllinen materiaalinimike ja jokaista materiaalinimikettä käytetään vain kerran.

### ***Kaukaisemmassa tulevaisuudessa suositeltavat projektit***

Olisi suositeltavaa saada automaattiseksi SAP ERP -järjestelmässä ennusteen muuttumisesta myyntitilaukseksi seuraava kapasiteetin varaamisen määrä. Nyt uudet myyntitilaukset eivät poista niille kapasiteetin varauksesta niitä vastaavia ennusteita, vaan sekä myyntitilaukset että niitä vastaavat ennusteet jäävät SAP ERP -järjestelmään. Ennusteet poistuvat vain manuaalisesti poistamalla. Tämä poisto olisi mahdollista tehdä, jos käytettäisiin SAP ERP -järjestelmässä olevia suunnittelustrategioita. Kulutusstrategioita olisi mahdollista räätälöidä tahtikoneiden tarpeisiin sopiviksi. Tämän avulla voitaisiin myös tarkastella paremmin ennusteiden toteutumista ja tarkkuutta.



### ***Muita uusia suositeltavia työn aikana esiin tulleita projekteja:***

- SAP BW -projektin tai DAISY-projektin toteuttamista (maksaa 15 000 euroa, jos PP-moduulin tiedot ladataan daisy-raportointijärjestelmään) olisi syytä harkita. SAP BW ja DAISY ovat raportointijärjestelmiä, jotka ottavat tiedot suoraan SAP ERP -järjestelmästä.
  - o Hyödyt: Saataisiin parempia raportteja toiminnasta (toimitusvarmuusmittarit yms.), ennustustarkkuutta olisi mahdollista mitata ja pystyttäisiin paremmin vertailemaan tuloksia historia-tietoihin. Todennäköisesti ennusteiden tarkkuus parantuisi. Vielä ei ole käytössä ennusteiden tarkastelutyökaluja.
- SAP APO (SAP Advanced Planning and Optimization). SAP APO on tarkoitettu myynnin ennustamiseen sekä toimitusketjun, tuotannon ja kuljetusten suunnitteluun.
  - o Hyödyt: Ennustamistarkkuuden mittaaminen, simulointi, useampi tuotantoyksikkö samassa tarkastelussa, maailmanlaajuinen järjestelmä, mahdollistaa tuotteiden valmistuksen sijoittelun maailmanlaajuisesti eri tehtaisiin yhdestä sijainnista. Kokonaisuuden hallinta maailmanlaajuisesti.
  - o Ennustamistarkkuuden mittaamiseen tulisi työkaluja, jolloin saataisiin tarkempia ennusteita pidemmällä aikavälillä
  - o Simulointimahdollisuudet suuressa mittakaavassa. Monet tuotantoyksiköt mukana.
  - o Haitat: Kallis, ylläpito maksaa, material masterien tarkentaminen, hidasta rakentaa toimivaksi, tarvitaan lukuisia SAP-konsultteja ja yhteistyötä muilta tuotantoyksiköiltä
- Porttimallin muokkaaminen paremmin sopivammaksi SAP:iin. Toimistoportit ovat toimivia, mutta tuotantoportit ovat jossain tapauksissa vanhanaikaisia. Nyt tiettyjä alihankittavia tuotteita ostetaan porttipäiviin. Alihankittavat tuotteet voitaisiin kotiinkutsua ja tilata SAP:n ehdottamiin päiviin. Osat eivät lojuisi liian kauan lattialla ja tuotannosta tulisi paremmin LEAN- ja JIT-tuotantofilosofioiden mukaista. Näin välttäisiin myös paremmin väistämättä tapahtuvista osien häviöistä.

## 7 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli tuotannon ohjattavuuden, kuormituksen ja ennustamisen kehittäminen SAP ERP -järjestelmässä. Uuden standardin SAP ERP -järjestelmän käyttöönoton jälkeen tuotannonohjauksen menetelmät olivat heikentyneet aiemmasta. Myöskään uuden ERP-järjestelmän menetelmien käytön ohjeistuksien tuottamiseen ei oltu panostettu tarpeeksi. Myös kuormantasaussäännöt ja -ohjeet olivat vaikealukuiset ja vaativat uudistamista. Erityisinä ongelmina olivat ennusteiden ja asiakasvarauksien kirjaamiskäytännöt, tärkeiden tuotantoresurssien puuttumiset ja tuotteiden tarvehierarkioiden päivittäminen tuotantokeskeisemmiksi. Työ rajattiin tuotannonsuunnittelun kehittämiseen ja tuotannonsuunnittelun menetelmien dokumentointiin.

Työn aikana kehitettiin menetelmiä ja SAP ERP -järjestelmää paremmin sopivaksi tahtikoneiden tarpeisiin. Työn aikana luotiin tuotannonsuunnitteluun ohjeisto. Se antaa keskeisimmät menetelmät ja ohjeet työntekijöille eri työvaiheiden parempaan hallintaan SAPin avulla. Seuraavaksi tutkittiin menetelmiä, joiden avulla tiettyjen resurssien kohdentamisessa voitaisiin hyödyntää SAP ERP -järjestelmää. Ratkaisuksi tuli rinnakkaisten vaiheiden rakentaminen kriittisille reititysvaihtoehdoille. Tämä perustui ratkaisuun muodostaa kuormitettaville tuotantoresurssille omat tuotantoyksiköt. Kuormitettavia tuotantoyksiköitä muodostettiin vyyhdenvalmistukseen kolme ja loppukokoonpanoon neljä sekä lattakuparinapojen valmistukseen yksi (tämä on alihankittava materiaali). Loppukokoonpanoa on pidetty tahtikoneiden kuormituspisteenä ja sen kuormitukseen on ollut erilliset säännöt. Uusien tuotantoresurssien johdosta voidaan suoraan järjestelmästä katsoa, onko tietty kone mahdollista ajoittaa tiettyyn ajankohtaan. Tuotantoresurssien jälkeen muodostettiin uudet tarvehierarkiat eri tuotteille, joiden tuotannon kuormitettavuustiedot tulevat tuotteen teknillisistä tiedoista. Tämän avulla saadaan tuotannonkuormitettavuudesta yksityiskohtaisempi ja kokonaisuudesta tarkempi.

Ennustetiedot eriytettiin kahteen eri osaan asiakasennusteisiin ja kohdentamattomiin ennusteisiin. Asiakasennusteiden syöttötaulukkoa voidaan myös käyttää kapasiteettivarausten tekemiseen tuotannosta. Tämän avulla nähdään suoraan

järjestelmästä, mikä ennuste on kyseessä ja kuinka todennäköistä on sen toteutuminen. Asiakasennusteiden toteutuminen on huomattavasti tarkempaa kuin muiden ennusteiden.

Olisi suositeltavaa kehittää raportointityökaluja ja suorittaa uusia SAP Queryjä päivittäisten raporttien tekemisessä tulevaisuudessa. Nyt tärkeiden raporttien tekemiseen kuluu turhaa työaikaa, kun etsitään tietoa SAP ERP -järjestelmästä ja tietoja siirretään sitä Exceeliin paloina eri taulukoista. Kaikki tämä voitaisiin automatisoida SAP Queryjen avulla. Toinen asia, jota olisi suositeltavaa kehittää tulevaisuudessa, on hankinta-aloitteiden hallinta- ja ohjaustyökalut.



## LÄHDELUETTELO

1. Jacobs, F. R., Berry, W. L., Whybark, D. C., & Vollmann, T.E. *Manufacturing planning & control for supply chain management*. 6<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill, New York, USA, 2011. 480 s. ISBN 978-0-07-131393-3
2. Badiru, A. B. *Handbook of industrial and systems engineering*. Taylor & Francis Group, New York, USA, 2006. ISBN 978-0-8493-2719-3
3. Liker, J.K. *Toyotan tapaan (the Toyota way)*. WS Bookwell Oy, Jyväskylä, 2010. 323 s. ISBN 978-952-220-226-0
4. ABB tänään esittelymateriaali. 8.11.2010. Saatavissa: ABB.fi
5. Sähkökoneiden esittelymateriaali. ABB intra.8.8.2011. Saatavissa: <http://fi.inside.abb.com/cawp/gad00195/523332b1c825dba2c2256ca90037cfaf.aspx> ABB.fi
6. Womack, J.P. & Jones, D. T. *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster UK Ltd, UK, 2003. 396 s. ISBN 0-7432-2164-3
7. Lapinleimu, Ilkka Kauppinen, Veijo & Torvinen, Seppo. *Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät*. WSOY, Porvoo, 1997. 398 s. ISBN 951-0-21436-1
8. Bank, Jerry. *Handbook of simulation- Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice*. John Wiley & Sons, 1998. 870 s. ISBN 978-0-471-13403-9
9. Askin, Ronald G. & Standridge, Charles R. *Modeling and analysis of manufacturing systems*. Singapore: John Wiley & Sons, INC, 1993. 461 s. ISBN 0-471-57369-8
10. Baudin, Michael. *Lean logistics: The Nuts and Bolts of Delivering Materials and Goods*. Productivity Press. New York, USA, 2004. 387 s. ISBN 1- 56327- 296- 2
11. Blecker, Thorsten & Abdelkafi, Nizar. *Complexity and variety in mass customization systems: analysis and recommendations*. Management Decisions Vol. 44 No.7, 2006. 908-929 s. DOI 10.1108/00251740610680596
12. Haverila, Matti J. et al. Teollisuustalous. Infacs Johtamistekniikka Oy. 5. painos. Tampere, 2005. 510 s. ISBN 951-96765-5-4
13. Wacker, J.G. & Sprague, L. G. *The impact of institutional factors on forecast accuracy: manufacturing executives perspective*. Taylor & Francis Ltd. London.

14. Durango-Cohen, E. J. & Yano, C. A. *Supplier commitment and production decisions under a forecast-commitment contract*. Informs, USA. Management science Vol. 52, No. 1, 2006. 54-67 s. DOI 10.1287/mnsc.1050.0471. ISSN 0025-1909. EISSN 1526-5501
15. Slomp, J. et al. *A lean production control system for high-variety/low-volume environments: a case study implementation*. Taylor & Francis Ltd. London. Production planning & control Vol. 20, No. 7, 2009. 586-595 s. DOI 10.1080/09537280903086164. ISSN 0953-7287. EISSN 1366-5871.
16. Stevensons, M. et al. *A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry*. Taylor & Francis Ltd. London. International journal of production research Vol. 43, No 5, 2005. 869-898 s. DOI 10.1080/0020754042000298520. ISSN 0020-7543 EISSN 1366-588X
17. Forza, C. et al. *Application support for product variety management*. Taylor & Francis Ltd. London. International journal of production research Vol. 46, No 3, 2008. 817-836 s. DOI 10.1080/00207540600818278. ISSN 0020-7543. EISSN 1366-588X
18. Blecker, T et al. *Information and management systems for product customization*. Springer Science + Business Media Inc., New York, 2005, 269 s. ISBN 0-387-23357-4
19. Duray, R. *Mass customizers' use of inventory, planning techniques and channel management*. Taylor & Francis Ltd, London. International journal of production research Vol. 15, No 4, 2004. 412-421 s. DOI 10.1080/0953728042000238791. ISSN 0953-7287. EISSN 1366-5871
20. Stevenson, W.J. *Operations Management*. 11<sup>th</sup> edition. McGraw-Hill, New York, USA, 2011. 908 s. ISBN 978-0-07-352525-9
21. Iloranta, Kari & Pajunen-Muhonen Hanna. *Hankintojen johtaminen*. Gummerrus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 2008. 498 s. ISBN 978-951-885-276-9
22. Narasimhan, R. Swink, M. et al. *Disentangling leanness and agility: An empirical investigation*. Elsevier, 2005. Journal of operations management Vol. 24, 2006. 440-457 s. DOI 10.1016/j.jom.2005.11.011

23. Kidd, Paul T. *Agile manufacturing: forging new frontiers*. Boston: Addison-Wesley, USA, 1994. ISBN 0-201-63163-6.
24. Shibutani, John. *Tahtikoneen toimintaperiaate*. ABB Industry Oy.
25. Kalliomäki, Jaakko. *Yleistä tietoa ABB:n sähkökoneista*. ABB Industry Oy.
26. Diskersbach, J.T. et al. *Production planning and control with SAP*. Galileo Press, Boston, USA, 2007. ISBN 978-1-59229-106-9
27. Dickersbach, Jörg Thomas. *Supply chain management with APO: structures, modelling approaches, and implementation of mySAP SCM 4.1*. Berlin: New York, Springer, 2006. ISBN 354024817X (Elektroninen aineisto), 9783540248170 (Elektroninen aineisto)
28. SAP kotisivut. 8.10.2011. Saatavissa: <http://www1.sap.com/about-sap/index.epx>



## LIITE B. Tuotannonsuunnittelun SAP-ohje.

### Sisällysluettelo

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Johdanto.....  | 2  |
| 1.1 | Tuotannonsuunnittelijalla oltavat parametrit .....   | 3  |
| 2   | Myyntitilauksen dokumenttien tarkistelu(VA03).....   | 5  |
| 3   | Rakennesuunnittelun lisääminen planned orderille zcopyschedule- ajolla ja manuaalisesti<br>varaosapositionille ..... | 7  |
| 3.1 | Varaosaposition rakennesuunnittelun lisääminen(CS61) .....   | 13 |
| 3.2 | Staattonilevyjen myyntitilauksen lisäys PRT:n työjonoon.....   | 14 |
| 4   | Reititykset (MD4C, MM02, MD02, CA01).....  | 16 |
| 4.1 | Order routingin tekeminen(CA01).....   | 16 |
| 5   | Rakenteen tarkistus ja mahdolliset phantomoinnit sekä muut toimenpiteet(MD4C, VA03,<br>MM02, CS02, MD02).....        | 24 |
| 5.1 | BOM:ltä materiaalin poisto.....  | 24 |
| 5.2 | Staattonin valmistus tehdään Virossa (käännetään valmistus Virossa tehtäväksi).....                                  | 24 |
| 5.3 | Production ordereiden tietojen päivittäminen (read PP master data).....  | 25 |
| 6   | Planned ordereiden kääntäminen Production ordereiksi(COOIS, CO41, COHV).....   | 26 |
| 6.1 | Yleistä .....  | 26 |
| 6.2 | Tuotantotilausten luominen(COOIS, CO41).....   | 26 |
| 6.3 | Tuotantotilausten vapauttaminen (COHV).....  | 30 |
| 7   | Kapasiteetin tarkistukset ja työjonot (CM21, CM01, CM02, CM03).....  | 35 |
| 7.1 | Tarjouksen kapasiteetti tarkastelu.....  | 36 |
| 7.2 | Tilauksen ajoittaminen kapasiteetin sekä kuorman suhteen .....   | 36 |
| 8   | Ennustaminen .....   | 39 |
| 8.1 | Ennusteen siirto SAP:iin(MD61).....  | 39 |
| 9   | Palaverit .....  | 41 |
| 9.1 | Aloituspalaveri .....  | 41 |
| 9.2 | ECP palaveri .....   | 44 |
| 10  | Dirlink- ajo (zmmmdirlink) .....   | 46 |

LIITE C. Uudet tarvehierarkiat.

| Akselikorkeus    | Tarve-<br>hierarkia | Lyhenne      | Tuoteperhe(tulosyksikkö)       | Ennuste<br>tarvehierarkia(CIR<br>&PIR) | Ennuste<br>tarvehierarkia,<br>alihankittava<br>staattori(CIR&PIR) |
|------------------|---------------------|--------------|--------------------------------|--|---|
| 1000, 1250, 1400 | 3AFPAMZAZI          | Azipod L     | PT119                          | 3AFPAMZAZIFC                           |   |
| 1600, 1250       | 3AFPAMGL            | Gen Large    | PT115, PT116                   | 3AFPAMGLFC                             | 3AFPAMGLFCOS  |
| 1120             | 3AFPAMGM            | Gen Medium   | PT115, PT116                   | 3AFPAMGMFC                             | 3AFPAMGMFCOS  |
| 710, 900         | 3AFPAMGS            | Gen Small    | PT115, PT116                   | 3AFPAMGSFC                             | 3AFPAMGSFCOS  |
| 710, 900, 1120   | 3AFPAMZS            | Motor Small  | PT112, PT113A, B, C, PT114A, B | 3AFPAMZSFC                             | 3AFPAMZSFCOS  |
| 1250, 1600       | 3AFPAMZM            | Motor Medium | PT112, PT113A, B, C, PT114A, B | 3AFPAMZMFC                             |   |
| 2000             | 3AFPAMZL            | Motor Large  | PT112, PT113A, B, C, PT114A, B | 3AFPAMZLFC                             |   |
| 2500             | 3AFPAMZXL           | Motor XL     | PT112, PT113A, B, C, PT114A, B | 3AFPAMZXLFC                            |   |

LIITE D. Tarvehierarkoiden valinta Excel-tiedosto.

ORDER BOM Options List

First row for each FINI material is the default choice; others are in need of Order BOM. Always remember to specify Profit Center! The application of the machine is specific by profit center. The differences in design/construction (options, auxiliary equipment, protection) mostly affects the final assembly, but also other areas like rotor assy.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Yes / No   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Hours, INCLUDES assy/dismantling from test flt   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Sleeve Antifriction Axial Sleeve Vertical Sleeve |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | None Ground Small Pit Large Pit                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | None As Is Assy and Dismantling                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



|    | A                           | B         | C | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S |
|----|-----------------------------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  | Start Date:                 | 11.2.2013 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  | Duration cal. days          |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  | Production Gantt for chosen |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  | BCM and Default BCM         |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  | FCA Date                    | 30.3.2013 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  | Coil Manuf.                 |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 | Stacking                    |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 | Winding                     |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 15 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 16 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 | Welding                     |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 18 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 20 | Interm. Paint               |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 21 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 22 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 23 | Rotor Assy                  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 24 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 25 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 26 | Pre-Assy buffer             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 27 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 28 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 29 | Final Assy                  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 30 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 31 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 32 | Testing                     |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 33 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 34 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 35 | Dispatch                    |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 36 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 37 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 38 | Delivery buffer             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 39 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 40 |                             |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

| A         |          | B                            |  | C                     |  | D                     |  | E                    |  | F                    |  | G                      |  | H                       |  | I                      |  | J                    |  |        |  |
|-----------|----------|------------------------------|--|-----------------------|--|-----------------------|--|----------------------|--|----------------------|--|------------------------|--|-------------------------|--|------------------------|--|----------------------|--|--------|--|
| OPERATION |          | DESCR.                       |  | Gen Medium<br>3AFPMGM |  | Azipod L<br>3AFPMZAZI |  | Gen Large<br>3AFPMGL |  | Gen Small<br>3AFPMGS |  | Motor Small<br>3AFPMZS |  | Motor Medium<br>3AFPMZM |  | Motor Large<br>3AFPMZL |  | Motor XL<br>3AFPMZXL |  |        |  |
| 3         | PTT34    | Packing                      |  | 3AMGM                 |  | 3AMZAZI               |  | 3AMGL                |  | 3AMGS                |  | 3AMZS                  |  | 3AMZM                   |  | 3AMZL                  |  | 3AMZXL               |  |        |  |
| 4         | PTT34    | Painting                     |  | 3AMGM                 |  | 3AMZAZI               |  | 3AMGL                |  | 3AMGS                |  | 3AMZS                  |  | 3AMZM                   |  | 3AMZL                  |  | 3AMZXL               |  |        |  |
| 5         | PXT10    | Final testing; work          |  | 3GMZP100              |  | 3ZAZP100              |  | 3GLZP100             |  | 3GSZP100             |  | 3ZSZP100               |  | 3ZMZP100                |  | 3ZLZP100               |  | 3ZXZP100             |  |        |  |
| 6         | PXO00    | Final testing; elec.         |  | 3GMZP100              |  | 3ZAZP100              |  | 3GLZP100             |  | 3GSZP100             |  | 3ZSZP100               |  | 3ZMZP100                |  | 3ZLZP100               |  | 3ZXZP100             |  |        |  |
| 7         | PTT3B    | Final assembly               |  | 3GMZP100              |  | 3ZAZP100              |  | 3GLZP100             |  | 3GSZP100             |  | 3ZSZP100               |  | 3ZMZP100                |  | 3ZLZP100               |  | 3ZXZP100             |  |        |  |
| 8         | PTT3GEN  | GEN. ASSEMBLY RES. TIME      |  | 3GMZP100              |  | 3ZAZP100              |  | 3GLZP100             |  | 3GSZP100             |  | 3ZSZP100               |  | 3ZMZP100                |  | 3ZLZP100               |  | 3ZXZP100             |  |        |  |
| 9         | PTT3FLAT | GEN&MOT ASSEMBLY RES. TIME   |  | 3GMZP100              |  | 3ZAZP100              |  | 3GLZP100             |  | 3GSZP100             |  | 3ZSZP100               |  | 3ZMZP100                |  | 3ZLZP100               |  | 3ZXZP100             |  |        |  |
| 10        | PTT3SV2A | BIG PIT ASSEMBLY RES. TIME   |  | 3GMZP100              |  | 3ZAZP100              |  | 3GLZP100             |  | 3GSZP100             |  | 3ZSZP100               |  | 3ZMZP100                |  | 3ZLZP100               |  | 3ZXZP100             |  |        |  |
| 11        | PTT3SV2B | SMALL PIT ASSEMBLY RES. TIME |  | 3GMZP100              |  | 3ZAZP100              |  | 3GLZP100             |  | 3GSZP100             |  | 3ZSZP100               |  | 3ZMZP100                |  | 3ZLZP100               |  | 3ZXZP100             |  |        |  |
| 12        | PTT2     | RT ASSEMBLY                  |  | 3GMRA001              |  | 3ZARA001              |  | 3GLRA001             |  | 3GSRA001             |  | 3ZSRA001               |  | 3ZMRA001                |  | 3ZLRA001               |  | 3ZXRA001             |  |        |  |
| 13        | PTT50    | RT IMPREGNATION              |  | 3GMRA001              |  | 3ZARA001              |  | 3GLRA001             |  | 3GSRA001             |  | 3ZSRA001               |  | 3ZMRA001                |  | 3ZLRA001               |  | 3ZXRA001             |  |        |  |
| 14        | PTT2     | RT FINAL ASSEMBLY            |  | 3GMRA001              |  | 3ZARA001              |  | 3GLRA001             |  | 3GSRA001             |  | 3ZSRA001               |  | 3ZMRA001                |  | 3ZLRA001               |  | 3ZXRA001             |  |        |  |
| 15        | PTT60    | EXCRT IMPREGNATION           |  | 3GMSR001              |  | 3ZASR001              |  | 3GLSR001             |  | 3GSSR001             |  | 3ZSSR001               |  | 3ZMSR001                |  | 3ZLSR001               |  | 3ZXSRO01             |  |        |  |
| 16        | PTT60    | EXCST IMPREGNATION           |  | 3GMSC001              |  | 3ZASC001              |  | 3GLSC001             |  | 3GSSC001             |  | 3ZSSC001               |  | 3ZMSC001                |  | 3ZLSC001               |  | 3ZXSOC001            |  |        |  |
| 17        | PTT13    | St welding                   |  | 3GMCA001              |  | 3ZACA001              |  | 3GLCA001             |  | 3GSCA001             |  | 3ZSCA001               |  | 3ZMCA001                |  | 3ZLCA001               |  | 3ZXCA001             |  |        |  |
| 18        | PTT14    | Intm. paint                  |  | 3GMCA001              |  | 3ZACA001              |  | 3GLCA001             |  | 3GSCA001             |  | 3ZSCA001               |  | 3ZMCA001                |  | 3ZLCA001               |  | 3ZXCA001             |  |        |  |
| 19        | PTT12    | St winding                   |  | 3GMCU001              |  | 3ZACU001              |  | 3GLCU001             |  | 3GSCU001             |  | 3ZSCU001               |  | 3ZMCU001                |  | 3ZLCU001               |  | 3ZXCU001             |  |        |  |
| 20        | PTT50    | St impregnation              |  | 3GMCU001              |  | 3ZACU001              |  | 3GLCU001             |  | 3GSCU001             |  | 3ZSCU001               |  | 3ZMCU001                |  | 3ZLCU001               |  | 3ZXCU001             |  |        |  |
| 21        | PTT12    | St testing                   |  | 3GMCU001              |  | 3ZACU001              |  | 3GLCU001             |  | 3GSCU001             |  | 3ZSCU001               |  | 3ZMCU001                |  | 3ZLCU001               |  | 3ZXCU001             |  |        |  |
| 22        | PTT11    | St core stacking             |  | 3GMCL001              |  | 3ZACL001              |  | 3GLCL001             |  | 3GSCLO01             |  | 3ZSCL001               |  | 3ZMCL001                |  | 3ZLCL001               |  | 3ZXCL001             |  |        |  |
| 23        | PRT10    | St segment slotting          |  | 3GMCL010              |  | 3ZACL010              |  | 3GLCL010             |  | 3GSCLO10             |  | 3ZSCL010               |  | 3ZMCL010                |  | 3ZLCL010               |  | 3ZXCL010             |  |        |  |
| 24        | PRT50    | St air duct welding          |  | 3GMCL010              |  | 3ZACL010              |  | 3GLCL010             |  | 3GSCLO10             |  | 3ZSCL010               |  | 3ZMCL010                |  | 3ZLCL010               |  | 3ZXCL010             |  |        |  |
| 25        | PTT10    | St coil manufacturing        |  | 3GMCU002              |  | 3ZACU002              |  | 3GLCU002             |  | 3GSCU002             |  | 3ZSCU002               |  | 3ZMCU002                |  | 3ZLCU002               |  | 3ZXCU002             |  |        |  |
| 26        | PTT10HH  | HIGH COIL MAN. RES. TIME     |  | 3GMCU002              |  | 3ZACU002              |  | 3GLCU002             |  | 3GSCU002             |  | 3ZSCU002               |  | 3ZMCU002                |  | 3ZLCU002               |  | 3ZXCU002             |  |        |  |
| 27        | PTT10LW  | LOW COIL MAN. RES. TIME      |  | 3GMCU002              |  | 3ZACU002              |  | 3GLCU002             |  | 3GSCU002             |  | 3ZSCU002               |  | 3ZMCU002                |  | 3ZLCU002               |  | 3ZXCU002             |  |        |  |
| 28        | PTT10LG  | LONG COIL MAN RES. TIME      |  | 3GMCU002              |  | 3ZACU002              |  | 3GLCU002             |  | 3GSCU002             |  | 3ZSCU002               |  | 3ZMCU002                |  | 3ZLCU002               |  | 3ZXCU002             |  |        |  |
| 29        |          |                              |  |                       |  |                       |  |                      |  |                      |  |                        |  |                         |  |                        |  |                      |  |        |  |
| 30        |          |                              |  |                       |  |                       |  |                      |  |                      |  |                        |  |                         |  |                        |  |                      |  |        |  |
| Log       |          | FINI_final                   |  | LIST_1                |  | Gantt                 |  | GROUP                |  | Hierarchy            |  | OPERATING TIMES        |  | Variables               |  | TESTING                |  | COILS_PTT10          |  | Sheet1 |  |



|    |                               |  |               |               |               |               |               |  |
|----|-------------------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|
| B5 |                               | fx =CONCATENATE(VLOOKUP(\$C\$1;GROUP!\$C\$35:\$E\$42;2;0);"ZP100") |               |               |               |               |               |  |
|    | A                             | B  | C             | D             | E             | F             | G             |  |
| 1  | Hierarchy: materials & groups |  | 3AFPAMGM      |               |               |               |               |  |
| 2  | LEVEL1                        | LEVEL2   | LEVEL3        | LEVEL4        | LEVEL5        | LEVEL6        | LEVEL7        |  |
| 3  | 3AFPAMGM                      |  |               |               |               |               |               |  |
| 4  | 3AMGM                         | 3AFPAMGMZP100  |               |               |               |               |               |  |
| 5  |                               | 3AMGMZP100   | 3AFPAMGMRA001 | 3AFPAMGMSR001 |               |               |               |  |
| 6  |                               |  | 3AMGMRA001    | 3AMGMSR001    |               |               |               |  |
| 7  |                               |  |               |               |               |               |               |  |
| 8  |                               |  | 3AFPAMGMSC001 |               |               |               |               |  |
| 9  |                               |  | 3AMGMSC001    |               |               |               |               |  |
| 10 |                               |  |               |               |               |               |               |  |
| 11 |                               |  | 3AFPAMGMCA001 | 3AFPAMGMCU100 | 3AFPAMGMCU001 | 3AFPAMGMCU002 |               |  |
| 12 |                               |  | 3AMGMCA001    | 3AMGMCU100    | 3AMGMCU001    | 3AMGMCU002    |               |  |
| 13 |                               |  |               |               |               |               |               |  |
| 14 |                               |  |               |               |               |               |               |  |
| 15 |                               |  |               |               |               | 3AFPAMGMCL001 | 3AFPAMGMCL010 |  |
| 16 |                               |  |               |               |               | 3AMGMCCCL001  | 3AMGMCL010    |  |
| 17 |                               |  |               |               |               |               |               |  |
| 18 |                               |  |               |               |               |               |               |  |
| 19 |                               |  |               |               |               |               |               |  |
| 20 |                               |  |               |               |               |               |               |  |
| 21 |                               |  |               |               |               |               |               |  |
| 22 |                               |  |               |               |               |               |               |  |
| 23 |                               |  |               |               |               |               |               |  |
| 24 |                               |  |               |               |               |               |               |  |
| 25 |                               |  |               |               |               |               |               |  |
| 26 |                               |  |               |               |               |               |               |  |



LIIITEA. Alkuperäiset tarvehierarkiat.

|                 |                    |                 |                     |                                      |                   |                    |              |                       |                      |                      |              |                                    |   |                                     |                            |
|-----------------|--------------------|-----------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------|------------------------------------|---|-------------------------------------|----------------------------|
| Tuote-<br>perhe | Akseli-<br>korkeus | Tarve-hierarkia | Pu-<br>ris-<br>tamo | Vyyh-<br>den-<br>val-<br>mis-<br>tus | La-<br>don-<br>ta | Kää-<br>min-<br>tä | Hit-<br>saus | Väli-<br>maa-<br>laus | Ko-<br>koon-<br>pano | Root-<br>torin<br>KP | koes-<br>tus | Maa-<br>laus<br>ja<br>pak-<br>kaus | Σ | Targ<br>w/<br>SAP<br>työtun-<br>nit | SAP<br>Työ-<br>tun-<br>nit |
|-----------------|--------------------|-----------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------|------------------------------------|---|-------------------------------------|----------------------------|

|                 |                    |                 |                     |                                      |                   |                    |              |                       |                      |                      |              |                                    |   |                                   |                            |
|-----------------|--------------------|-----------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------|------------------------------------|---|-----------------------------------|----------------------------|
| Tuote-<br>perhe | Akseli-<br>korkeus | Tarve-hierarkia | Pu-<br>ris-<br>tamo | Vyyh-<br>den-<br>val-<br>mis-<br>tus | La-<br>don-<br>ta | Kää-<br>min-<br>tä | Hit-<br>saus | Väli-<br>maa-<br>laus | Ko-<br>koon-<br>pano | Root-<br>torin<br>KP | koes-<br>tus | Maa-<br>laus<br>ja<br>pak-<br>kaus | 2 | Targ<br>w/<br>SAP<br>työtu<br>nit | SAP<br>Työ-<br>tun-<br>nit |
|-----------------|--------------------|-----------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------|------------------------------------|---|-----------------------------------|----------------------------|

|                 |                    |                 |                     |                                      |                   |                    |              |                       |                      |                      |              |                                    |   |                                   |                            |
|-----------------|--------------------|-----------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------|------------------------------------|---|-----------------------------------|----------------------------|
| Tuote-<br>perhe | Akseli-<br>korkeus | Tarve-hierarkia | Pu-<br>ris-<br>tamo | Vyyh-<br>den-<br>val-<br>mis-<br>tus | La-<br>don-<br>ta | Kää-<br>min-<br>tä | Hit-<br>saus | Väli-<br>maa-<br>laus | Ko-<br>koon-<br>pano | Root-<br>torin<br>KP | Koes-<br>tus | Maa-<br>laus<br>ja<br>pak-<br>kaus | 2 | Targ<br>w/<br>SAP<br>työtu<br>nit | SAP<br>Työ-<br>tun-<br>nit |
|-----------------|--------------------|-----------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------|------------------------------------|---|-----------------------------------|----------------------------|



